

Série A, N° 1675
N° d'ordre : 2541

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

François ARTIGAS

Agrégé de l'Université

1^{re} Thèse. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DES ÊTRES
VIVANTS DANS SES RAPPORTS AVEC LA RADIOACTIVITÉ
DU POTASSIUM.

2^e Thèse. — PRÉPARATION ET PROPRIÉTÉS DES COUCHES MÉTALLIQUES
TRÈS MINCES.

Soutenues le 25 FEV 1937 1937 devant la Commission d'examen.

25 FEV 1937

MM. G. BERTRAND... *Président.*

A. COTTON.....
F. JOLIOT..... } *Examineurs.*

PARIS
IMPRIMERIE A. MARCHAND
31, VILLA D'ALÉSIA

1937

Série A, N° 1675
N° d'ordre : 2541

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ
DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

François ARTIGAS

Agrégé de l'Université

1^{re} Thèse. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DES ÊTRES
VIVANTS DANS SES RAPPORTS AVEC LA RADIOACTIVITÉ
DU POTASSIUM.

2^e Thèse. — PRÉPARATION ET PROPRIÉTÉS DES COUCHES MÉTALLIQUES
TRÈS MINCES.

Soutenues le 25 FEV 1937 1937 devant la Commission d'examen.

25 FEV 1937

MM. G. BERTRAND... *Président.*

A. COTTON.....
F. JOLIOT..... } *Examineurs.*

PARIS
IMPRIMERIE A. MARCHAND
31, VILLA D'ALÉSIA

1937

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire..... M. MOLLIARD

Doyen C. MAURAIN. *Professeur*, Physique du Globe.

<i>Professeurs honoraires</i>	H. LEBESGUE.	GOURSAT.	DANGEARD.
	A. FERNBACH.	GUILLET.	JANET.
	A. LEDUC.	PÉCHARD.	LESPIEAU.
	Emile PICARD.	FREUNDLER.	MARCHIS.
	Rémy PERRIER.	AUGER.	VESSIOT.
	LÉON BRILLOUIN	BLAISE.	PORTIER.

PROFESSEURS

G. BERTRAND ...	T Chimie biologique.	ROBERT-LÉVY ..	Zoologie.
M. CAULLERY ...	T Zoologie (Evolution des êtres organisés).	F. PICARD	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
G. URBAIN	T Chimie générale.	Henri VILLAT ..	T Mécanique des fluides et applications.
Emile BOREL ..	T Calcul des probabilités et Physique mathématique	Ch. JACOB	T Géologie.
Jean PERRIN ...	T Chimie physique.	P. PASCAL	T Chimie minérale.
H. ABRAHAM ...	T Physique.	M. FRÉCHET ...	T Calcul différentiel et Calcul intégral.
E. CARTAN	T Géométrie supérieure.	E. ESCLANGON ..	T Astronomie.
M. MOLLIARD ...	T Physiologie végétale.	M ^{me} RAMART-LUCAS	T Chimie organique.
L. LAPICQUE ...	T Physiologie générale.	H. BÉGHIN	T Mécanique physique et expérimentale.
A. COTTON	T Recherches physiques.	FOCH	Mécanique expérimentale des fluides.
J. DRACH	T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	PAUTHENIER ...	Physique (P. C. B.).
Charles FABRY .	T Enseignement de Physique	DE BROGLIE	T Théories physiques.
Charles PÉREZ .	T Zoologie.	CHRÉTIEN	Optique appliquée.
Léon BERTRAND .	T Géologie structurale et géologie appliquée.	P. JOB	Chimie générale.
E. RABAUD	T Biologie expérimentale.	LABROUSTE	Physique du Globe.
M. GUICHARD ...	Chimie minérale.	PRENANT	Zoologie.
Paul MONTEL ...	T Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	VILLEY	Mécanique physique et expérimentale.
P. WINTREBERT	T Anatomie et histologie comparées.	BOHN	Zoologie (P. C. B.).
L. BLARINGHEM .	T Botanique.	COMBES	Botanique (P. C. B.).
O. DUBOSCQ	T Biologie maritime.	GARNIER	T Mathématiques générales.
G. JULIA	T Mécanique analytique et Mécanique céleste.	PÉRÈS	Mécanique théorique des fluides.
C. MAUGUIN	T Minéralogie.	HACKSPILL	Chimie (P. C. B.).
A. MICHEL-LÉVY	T Pétrographie.	LAUGIER	Physiologie générale.
H. BÉNARD	T Mécanique expérimentale des fluides.	TOUSSAINT	Technique Aéronautique.
A. DENJOY	T Application de l'analyse à la Géométrie.	M. CURIE	Physique (P. C. B.).
L. LUTAUD	T Géographie physique et géologie dynamique.	G. RIBAUD	T Hautes températures.
Eugène BLOCH .	T Physique théorique et physique céleste.	CHAZY	T Mécanique rationnelle.
G. BRUHAT	Physique.	GAULT	Chimie (P. C. B.).
E. DARMOIS ...	Enseignement de Physique	ÉROZE	Recherches physiques.
A. DEBIERNE ...	T Physique Générale et Radioactivité.	DUPONT	T Théories chimiques.
A. DUFOUR	T Physique (P. C. B.).	LANQUINE	Géologie.
L. DUNOYER ...	Optique appliquée.	VALIRON	Mathématiques générales.
A. GUILLIERMOND	T Botanique.	BARRABÉ	Géologie structurale et géologie appliquée.
M. JAVILLIER ..	Chimie biologique.	MILLOT	Zoologie (P. C. B.).
L. JOLEAUD	Paléontologie.	F. PERRIN	Théories physiques.
		VAVON	Chimie organique.
		G. DARMOIS ...	Calcul des probabilités et Physique mathématique

Secrétaire A. PACAUD.

Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK



CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA
RADIOACTIVITÉ DES ÊTRES VIVANTS
DANS SES RAPPORTS AVEC LA
RADIOACTIVITÉ DU POTASSIUM

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GABRIEL BERTRAND

MEMBRE DE L'INSTITUT

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

ANCIEN PRÉSIDENT DE L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES

ET A L'INSTITUT PASTEUR

Très respectueux hommage de vive gratitude.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1
Radioactivité et biologie	1
Bioradioactivité et rayonnement mitogénétique	3
1 ^o La bioradioactivité existe-t-elle?	6
2 ^o Quelle est l'origine de la bioradioactivité?	7
1 ^o Théorie de M. L. PETRI : <i>les réactions diastasiques</i>	7
2 ^o Théorie de M. A. NODON : <i>l'action vitale et les radiations ultrapénétrantes</i>	10
3 ^o Théorie de M. P. BECQUEREL : <i>la radioactivité du potassium</i>	13
Objet du présent travail	15

PREMIÈRE PARTIE

LA BIORADIOACTIVITÉ

CHAPITRE I

DÉTECTION DU RAYONNEMENT IONISANT ÉMIS PAR LES ÊTRES VIVANTS	25
--	----

CHAPITRE II

DOSAGE DES ÉLÉMENTS RADIOACTIFS DANS LES ÊTRES VIVANTS	39
--	----

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES PERSONNELLES

CHAPITRE I

RECHERCHES EFFECTUÉES A L'ÉLECTROMÈTRE

A. — *Dispositif expérimental*

Choix de l'appareil de détection	50
L'électromètre Pohl	55
Conditions d'utilisation	57
Mode opératoire	62
Recherche de la sensibilité à la charge	65
Fidélité de l'électromètre	68

	Pages
B. — Résultats expérimentaux	
I — RAYONNEMENT DES CENDRES VÉGÉTALES	72
Absorption du rayonnement par les cendres elles-mêmes.....	72
Loi de surface	82
Proportionnalité de l'intensité de saturation à la teneur % des cendres en potassium.....	85
<i>Méthode de dosage du potassium dans les plantes</i>	86
Absorption du rayonnement par des écrans minces.....	93
1°) RAYONNEMENT DU SULFATE DE POTASSIUM.....	97
<i>Vérification de la loi de Fournier</i>	102
2°) RAYONNEMENT DES CENDRES.....	104
Localisation du rayonnement des cendres dans l'extrait sec de la partie soluble.....	109
1°) <i>Étude du rayonnement de l'extrait de la partie soluble</i> ...	109
2°) <i>Examen de la partie insoluble des cendres</i>	113
II — RAYONNEMENT DES VÉGÉTAUX A L'ÉTAT SEC.....	114

CHAPITRE II

RECHERCHES EFFECTUÉES AU TUBE COMPTEUR

Le tube compteur et la radioactivité du potassium.....	119
Sa technique.....	120
I. — RAYONNEMENT DES CENDRES TOTALES	123
Loi de surface	125
Absence du rayonnement γ dans le rayonnement des cendres totales	126
II. — RAYONNEMENT DES VÉGÉTAUX A L'ÉTAT SEC.....	128
III. — RAYONNEMENT DE LA PARTIE INSOLUBLE DES CENDRES	130
IV. — EXAMEN DES TISSUS VIVANTS.....	135
RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	139
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	143

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DES ÊTRES VIVANTS DANS SES RAPPORTS AVEC LA RADIOACTIVITÉ DU POTASSIUM

INTRODUCTION

Radioactivité et Biologie.

Dès que Henri BECQUEREL eut découvert en 1896 le phénomène de la radioactivité, on s'est préoccupé d'étudier l'action que les substances radioactives pouvaient exercer sur les êtres vivants. Les premiers essais effectués dans ce sens sont à l'origine d'un nombre considérable de travaux qui ont créé entre la radioactivité et la biologie des rapports tout à fait intéressants du point de vue pratique (98).

Les résultats obtenus, qui représentent ce que la Biologie doit à la radioactivité, ont été complétés par la recherche simultanée des enseignements que la biologie pouvait apporter, dans une certaine mesure, à la connaissance des phénomènes radioactifs.

On s'est tout d'abord demandé, en 1904, si les êtres vivants possèdent une radioactivité analogue à celle que présentent certains éléments minéraux. Cette préoccupation est à l'origine de la Bioradioactivité, appelée aussi quelquefois Radioactivité Biologique, dont le fondateur est le savant suisse TOMMASINA (101). Celui-ci, constatant que certains êtres ou organismes vivants accélèrent la déperdition électrique d'un électroscope chargé, croit voir dans ce phénomène la preuve de l'existence « d'une radioactivité propre aux êtres vivants végétaux et animaux ».

D'autre part, deux physiciens anglais N. R. CAMPBELL et A. WOOD (25, 26, 27 et 28) observent à partir de 1906 que les

combinaisons du potassium et du rubidium émettent un faible rayonnement analogue au rayonnement β des éléments radioactifs (1). Cette découverte remarquable devait apporter à la biologie un moyen d'accès tout à fait inattendu dans le domaine de la radioactivité.

A partir de 1916, en effet, ZWAARDEMAKER, physiologiste d'Utrecht, et ses élèves s'efforcent de contrôler par la biologie que le potassium et le rubidium sont effectivement radioactifs en même temps que de préciser le rôle biologique que l'élément potassium peut exercer par sa radioactivité dans le fonctionnement des organes, en particulier du cœur, de l'homme et des animaux (111, 112, 113, 114). Les observations physiologiques de ZWAARDEMAKER, si elles n'ont pas atteint de façon indiscutable le but proposé (36, 49, 50, 65, 66, 110), ont donné lieu à tout un ensemble de très belles expériences qui ont le mérite certain d'avoir montré les ressources que les méthodes de la biologie peuvent fournir en cette matière.

On a pris également l'habitude de désigner les phénomènes étudiés par l'Ecole d'Utrecht du nom de Bióradioactivité ou de Radioactivité Biologique que TOMMASINA a créé pour désigner la radioactivité propre aux êtres vivants. Mais dans son objet même, le problème étudié par ZWAARDEMAKER se distingue essentiellement de celui que TOMMASINA a abordé en 1904. TOMMASINA s'efforce en effet de mettre en évidence l'émission par la matière vivante d'un rayonnement en tous points semblable, dans ses effets sur un électroscope chargé, à celui des éléments radioactifs. ZWAARDEMAKER, au contraire, limitant le problème à l'influence que la radioactivité du potassium réparti dans les tissus vivants peut exercer sur l'organisme, admet implicitement, hypothèse d'ailleurs que l'expérience a consacrée aujourd'hui de façon cer-

(1) Depuis lors, l'existence d'un très faible rayonnement γ du potassium a été annoncée. Nous n'en tiendrons pas compte dans cet exposé: il apparaît en effet que pour observer un tel rayonnement, qui représente à peine 1 % du rayonnement total (17), il faut mettre en œuvre le plus souvent des masses considérables de sels de potassium. KOLHÖRSTER qui l'a découvert (54) utilise 250 kgs de KCl; dans la suite BEHOUNEK (10) opère sur 120 kgs et MUHLHOFF sur 10 kgs 5 du même sel (72). Lorsqu'on s'intéresse à de très petites quantités de potassium, comme c'est le cas ici, ce rayonnement γ n'est pas décelable dans les conditions habituelles; G. ORBAN (81) en a fourni la preuve directe par l'examen négatif qu'il en a fait à la chambre de Wilson, et nous-mêmes nous avons eu l'occasion maintes fois de nous en assurer (Voir p. 126).

taine, l'émission par cet élément d'un tel rayonnement et il s'applique à déterminer le rôle que cette émission peut jouer dans la vie de nos organes. Comme il le dit lui-même (114), il pense que « nous devons voir dans la Bioradioactivité, le moyen dont la nature se sert pour rendre possible des automatismes à périodicité permanente », tels que, par exemple, l'automatisme du cœur. En d'autres termes, ZWAARDEMAKER admet l'existence de la Bioradioactivité qu'il attribue à la radioactivité du potassium et il s'efforce d'en étudier les effets au sein même de la matière vivante. TOMMASINA, au contraire, cherche à faire la preuve de l'existence de la Bioradioactivité chez les êtres vivants par la mesure directe de l'ionisation qu'ils exercent en dehors d'eux-mêmes.

En ce qui nous concerne, c'est à cette dernière conception que nous réservons ici le nom de Bioradioactivité, la distinguant ainsi par le but qu'elle se propose de la Radioactivité Biologique au sens de ZWAARDEMAKER.

Bioradioactivité et Rayonnement Mitogénétique.

On peut également se demander s'il existe quelques rapports entre la Bioradioactivité telle que la concevait TOMMASINA et le Rayonnement Mitogénétique découvert en 1922 par GURWITSCH (48). Comme on le sait, en effet, on désigne sous ce nom le rayonnement qui prendrait naissance au cours des processus biologiques qui caractérisent l'activité vitale des organismes et qui serait capable d'accélérer à *distance* la division cellulaire des tissus vivants. Mais ce rayonnement, selon les conceptions actuelles, paraît s'exercer à la manière d'un rayonnement électromagnétique analogue au rayonnement ultraviolet de longueur d'onde 2.000 Å environ, et ce fait n'est pas en désaccord, semble-t-il, avec les idées généralement admises aujourd'hui qui associent aux réactions chimiques les plus diverses l'émission d'un rayonnement vibratoire.

Dans ces conditions, par leur nature même, les radiations mitogénétiques se distinguent du rayonnement, en grande partie probablement corpusculaire, qui caractérise la Bioradioactivité, et il semble, pour l'instant, que l'on soit en présence de deux manifestations distinctes de l'activité vitale.

Toutefois de l'examen critique d'une série de notes publiées par M. L. PETRI (82, 83, 84, 85, 86) une certaine tendance paraît se dégager selon laquelle les deux phénomènes seraient étroitement liés. Cela résulte de la conception particulière que M. PETRI s'est faite de la Bioradioactivité. Ainsi que nous le verrons avec plus de détails dans la suite, l'émission d'un tel rayonnement serait selon lui la conséquence des transformations chimiques qui se produisent dans l'organisme vivant sous l'action spécifique des diastases. L'auteur appuie son opinion sur le fait observé par lui, en 1922, que « l'air en contact de la surface libre d'un liquide contenant une diastase active devient de façon appréciable conducteur de l'électricité par rapport à ce qui a lieu lorsque la diastase est rendue inactive ».

Remarquant alors que des réactions diastasiques nombreuses se produisent au sein des êtres vivants au cours de leur développement, PETRI fait état de ce résultat expérimental pour admettre à cette époque que « cette ionisation pourrait avoir quelque rapport avec la question de l'existence de la Bioradioactivité » (82).

Or plus récemment, en 1933 (86), il paraît rattacher le phénomène observé par lui de l'effet GURWITSCH « Réexaminant aujourd'hui, dit-il, les résultats de mes expériences antérieures, je ne puis ne pas reconnaître que ceux-ci se rattachent directement aux notions modernes sur les radiations mitogénétiques, envisageant celles-ci comme la manifestation d'une « chimicoluminescence » c'est-à-dire comme une émission de radiations de courte longueur d'onde et de faible intensité (environ 2000 quanta par cm^2 et par seconde) qui se produirait au cours des processus d'oxydation ou de scission moléculaire par action fermentative (protéolyse, glycolyse et probablement autres processus diastasiques hydrolytiques) ».

Faut-il alors déduire, par suite de l'évolution des idées de l'auteur concernant l'interprétation de ses premières expériences, qu'il y ait identité entre la Bioradioactivité et le Rayonnement Mitogénétique? Nous ne le pensons pas, car certaines contradictions apparaissent lorsque nous comparons les procédés d'étude adoptés par l'auteur au cours de ses expériences successives.

Dans les premières expériences de 1922, alors qu'il n'était pas encore question de radiations mitogénétiques, PETRI utilisait

un microélectroscope du type Wilson ordinaire. Il observait que des tissus vivants réduits rapidement en bouillie provoquaient une légère ionisation, qui d'ailleurs n'était que temporaire. Par contre, ainsi qu'il le signale en 1928 (84), des racines en voie de croissance qui, selon GURWITSCH, sont une source intense du rayonnement mitogénétique ne produisent aucune ionisation appréciable de l'air susceptible d'être décelée avec un tel électroscope. Or, ayant adapté à l'organe de dispersion de la chambre d'ionisation de l'appareil de mesure un disque constitué par une mince lamelle de cadmium, PETRI constate, en 1932, une dispersion plus rapide de la charge électrique de l'appareil sous l'action de certains tissus de graines en germination.

Ces dernières expériences apportent donc la preuve d'une émission de radiations ultraviolettes qui, agissant sur le cadmium par effet photoélectrique, provoquent une émission secondaire d'électrons. Il y aurait bien ici effet mitogénétique, tandis que dans les expériences initiales sur les bouillies de tissus vivants en l'absence d'électrode au cadmium l'ionisation paraissait due selon les conceptions de l'auteur à une émission directe d'électrons au cours des réactions diastasiques, c'est-à-dire à ce qu'il croit être la Bioradioactivité. Il apparaît ainsi qu'il n'existe pas de relation certaine entre les deux phénomènes. C'est pourquoi nous allons discuter de l'existence de la Bioradioactivité, en dehors de toute relation avec l'effet Gurwitsch.

Il nous reste cependant à signaler dans cet ordre d'idées l'opinion originale émise récemment en 1932 par A. VACCARI (103) sous la forme suivante : le potassium, élément radioactif, étant répandu dans tous les tissus vivants ne pourrait-il exercer quelque influence dans les phénomènes qui se rapportent à l'action à distance des radiations mitogénétiques? Cette question tend aussi à rattacher au rayonnement de GURWITSCH la Bioradioactivité que certains auteurs comme nous allons le voir croient devoir attribuer à la présence constante de cet élément actif dans les tissus vivants.

La suggestion est intéressante, mais elle ne semble pas avoir été discutée si ce n'est par l'auteur lui-même qui d'ailleurs n'a pas réussi à la confirmer par des preuves expérimentales.

Mais, même si nous considérons le seul phénomène de la

Bioradioactivité selon la conception de TOMMASINA, plusieurs questions se posent immédiatement à notre attention.

1°) L'émission d'un rayonnement ionisant par les êtres vivants existe-t-elle vraiment? Est-il couramment admis que les expériences qui ont suggéré son existence sont hors d'atteinte de toute critique?

2°) Et en admettant qu'un tel rayonnement existe, quelle est son origine?

En particulier, est-il nécessaire pour que cette émission se produise que la matière végétale ou animale soit à l'état vivant? A l'état inerte, lorsque les tissus sont morts, cette matière cesse-t-elle d'émettre un rayonnement ionisant?

En d'autres termes, on peut se demander si cette radioactivité est strictement sous la dépendance de la vie comme le croyait TOMMASINA — à moins que la vie ne soit en quelque sorte, comme l'ont discuté quelques auteurs (21, 87, 90) et en particulier ZWAARDEMAKER, une conséquence de cette radioactivité.

Doit-on alors parler de Bioradioactivité proprement dite ou tout simplement d'une Radioactivité au sens rigoureusement physique du terme, qui se manifesterait chez les végétaux et chez les animaux par suite de la présence dans leurs tissus de certains éléments radioactifs? Dans ce cas, point ne serait besoin de faire intervenir la vie pour expliquer l'émission d'un rayonnement ionisant; on serait alors en présence du phénomène ordinaire de la radioactivité, qui se traduirait chez les êtres vivants de la même manière que chez certains minéraux.

1° — La Bioradioactivité existe-t-elle ?

A la suite des travaux de TOMMASINA, un certain nombre de recherches ont été effectuées dans l'intention de contrôler le phénomène annoncé. Or les faits observés sont tout à fait contradictoires.

La plupart des expérimentateurs, au nombre desquels il faut citer en France M. Paul BECQUEREL (5,8) et Daniel BERTHELOT (13), n'ont pu confirmer les résultats annoncés par TOMMASINA. Critiquant le mode opératoire adopté par ce dernier, ils attribuent le succès de ses expériences à de simples apparences dues à l'humidité que dégagent par transpiration les organismes vivants

introduits directement dans la chambre d'ionisation de l'électromètre de mesure.

Par contre, vingt ans après les expériences de TOMMASINA un physicien et astronome français Albert NODON (74,75) découvre à nouveau l'existence de la Bioradioactivité.

NODON signale en effet à l'Académie des Sciences, dans une série de notes présentées par Daniel BERTHELOT à partir de 1924, qu'il a mis en évidence à l'aide d'un électroscope sensible l'ionisation provoquée par les cellules vivantes. L'intensité du phénomène est d'ailleurs particulièrement grande, puisque l'activité mesurée dépasse parfois celle d'un échantillon de baryum radifère 15 fois plus actif que l'uranium. Cette radioactivité, rigoureusement propre aux êtres vivants, serait intimement liée au phénomène de la vie : elle serait même fonction du degré de vitalité de ces organismes, les végétaux et les animaux ne manifestant aucune radioactivité appréciable après leur mort.

Nous sommes bien ici en présence du phénomène de la Bioradioactivité au sens de TOMMASINA qui affirmait d'ailleurs lui aussi, en 1904, que l'intensité du rayonnement des êtres vivants mis en expérience « paraissait être proportionnelle à l'intensité de leur énergie vitale ». Cependant les expériences de NODON ont été accueillies avec scepticisme, en particulier par P. BECQUEREL et par D. BERTHELOT lui-même, au même titre que celles bien antérieures de TOMMASINA. Par exemple, P. BECQUEREL critiquant les résultats de NODON (8) s'exprime en ces termes : « comme nos appareils de mesure sont susceptibles de déterminer une radioactivité inférieure à 1/300 de celle de l'oxyde d'uranium lorsque nous nous mettons à l'abri de toute cause d'erreur, il est de toute évidence que la Bioradioactivité, constatée par TOMMASINA, ensuite par NODON, qui était parfois de 4.000 à 5.000 fois plus forte, n'aurait pas échappé à l'exactitude de nos mesures ».

2° — Quelle est l'origine de la Bioradioactivité ?

Trois théories séduisantes ont été émises pour l'interpréter. Les voici dans l'ordre chronologique :

1. — Théorie de M. L. Petri : les réactions diastasiques.

En 1922, dans une étude critique sur l'existence de la Bioradioactivité (82), étude qui d'ailleurs paraît être passée inaperçue,

M. L. PETRI suggère une explication ingénieuse, basée sur le mécanisme d'action des réactions diastasiques.

La théorie de M. PETRI a son origine dans les idées de BARENDRECHT concernant le rôle des diastases, idées qui auraient été confirmées de façon remarquable au cours d'expériences relatives aux diastases des diholosides (2,3) et à l'uréase (4).

D'après BARENDRECHT, les diastases exercent leur action spécifique *par rayonnement, à distance*, et cette action se traduit par une émission d'énergie, probablement, pense-t-il, sous forme d'électrons. Ce rayonnement est absorbé dans la molécule de la substance fermentescible et aussi en partie, dans le cas de l'uréase, dans les ions H^+ . La raison d'être de cette conception c'est que l'auteur y trouve une excellente interprétation de la variation de la vitesse de réaction, déterminée pour l'uréase à température constante et à concentration en ions H^+ constante (4).

M. L. PETRI reprend cette hypothèse (82). Il y voit une modification de la vieille de LIEBIG (64) sur les fermentations selon laquelle les agents de fermentation auraient la propriété d'induire un mouvement vibratoire désagréant dans les molécules des substances fermentescibles, avec l'avantage que cette modification s'accorde avec les opinions actuellement admises sur le mécanisme d'action des catalyseurs chimiques.

On sait en effet que les théories récentes sur la cinétique chimique, s'appuyant sur la structure électronique de la matière, attribuent à quelques substances lorsqu'elles sont suffisamment stimulées la propriété d'émettre des électrons de leurs atomes qui se trouvent alors dans des conditions convenables pour réagir à la cause activante. En particulier, précise PETRI, dans la photosynthèse des glucides chez les plantes à chlorophylle, on tend à admettre l'utilisation dans une partie du chloroplaste de l'énergie interatomique qui se trouve libérée dans les molécules du pigment sous l'effet des radiations les moins réfrangibles du spectre et également, suivant l'opinion de M. LANGEVIN, la lumière dans les réactions photochimiques n'exercerait pas une action chimique directe, mais provoquerait d'abord un phénomène photo-électrique avec libération d'électrons.

D'autre part, remarque-t-il, on peut obtenir expérimentalement « *in vitro* » sous l'action de rayons ultraviolets quelques-

uns des processus de synthèse ou de scission des organismes vivants qui sont provoqués « in vivo » par l'action des diastases. D'où sa conclusion qu'il n'est pas improbable qu'à partir des molécules des diastases des électrons soient émis avec une fréquence d'irradiation variable d'une diastase à l'autre, ce qui pourrait probablement expliquer en partie la spécificité de leur action si l'on admet que les molécules des substances diverses sur lesquelles elles agissent sont capables d'absorber suivant un mode type les rayonnements de fréquence déterminée.

M. PETRI pense alors que, dans les tissus vivants, la matière colloïdale du cytoplasme riche en diastases est une source toute naturelle d'énergie, et que cette énergie doit se manifester par l'émission d'un rayonnement capable d'exercer une action dispersive sur un électroscope chargé suffisamment sensible.

C'est à l'appui de ces conceptions que l'auteur s'est demandé, comme nous l'avons vu, si les diastases actives en présence de petites quantités de substances à modifier dispersent une partie de l'énergie émise par leurs molécules, et si une telle dispersion peut donner naissance à des phénomènes secondaires d'ionisation décelables par un microélectroscope du type Wilson.

Voici quelle est alors, dans cet ordre d'idées, sa conclusion générale : « Des substances telles que les diastases et aussi les toxines et les antitoxines, peut-être même les vitamines, dont le mécanisme d'action est encore mystérieux, auraient donc la propriété d'émettre une énergie analogue à celle que dans le monde inorganique on appelle la radioactivité, distinguant celle-ci qui est une propriété atomique de celle que l'on désigne du nom de Bioradioactivité, si l'on entend par là la propriété moléculaire, subordonnée d'ailleurs aux conditions du milieu, qu'auraient les produits colloïdaux du cytoplasme d'émettre de l'énergie ».

Ces considérations théoriques ont été émises par l'auteur en 1922, mais nous avons vu que plus récemment, en 1933, il paraissait abandonner son idée et que passant sous silence la Bioradioactivité, il n'hésitait pas à rattacher sa doctrine au phénomène de GURWITSCH. Cette conclusion, à notre avis, serait en effet plus conforme à l'ensemble des déductions sur lesquelles PETRI a élaboré sa théorie.

2. — Théorie de Nodon : l'action vitale et les radiations ultrapénétrantes.

Très peu de temps après la publication de l'étude critique de M. PETRI concernant la Bioradioactivité et à priori sans qu'il paraisse en avoir eu connaissance, NODON a esquissé dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (74) une théorie très différente qu'il a développée en détail dans un article de la *Revue Scientifique*, en 1927 (78).

NODON y reprend ses conceptions relatives à l'origine du phénomène général de la radioactivité. Selon lui, en effet, ce phénomène serait dû à l'action désintégrante que des ondes ultraradiantes de longueur d'onde extrêmement courte, de l'ordre de 10^{-13} cm., émises par le soleil et par les astres sont susceptibles de provoquer dans les atomes de certains éléments à nombre atomique élevé.

Très audacieusement il imagine un mode d'action analogue dans la production d'un rayonnement ionisant par la matière vivante, guidé en cela par le fait que la radioactivité cellulaire qu'il prétend avoir observée subit des variations identiques à celles qu'il croit avoir décelées dans l'activité du radium. Ces variations seraient d'ailleurs en relation étroite avec celles de l'activité solaire et accompagneraient rigoureusement celles de la radioactivité du radium.

Mais, pour expliquer la radioactivité des tissus vivants constitués surtout par des éléments légers, carbone, hydrogène, oxygène, azote, NODON se voit dans l'obligation de faire intervenir des radiations de longueur d'onde encore plus courte, comprise entre 10^{-13} et 10^{-69} cm., et en outre de leur associer pour qu'elles soient agissantes la présence chez les êtres vivants d'une certaine « action vitale » assez mal définie.

Il estime en effet que, dans le cas des éléments radioactifs ordinaires qui sont lourds, des radiations de longueur d'onde 10^{-13} cm. suffisent, car leur pénétration étant rendue difficile par l'existence d'un nombre élevé d'enveloppes d'électrons « la grande quantité d'énergie dissipée dans les chocs électroniques au voisinage de l'atome » est capable de provoquer « la désintégration partielle du noyau et l'expulsion définitive d'électrons au dehors... Il y aurait désintégration permanente des corps radio-

actifs sous l'action de cette énergie ultra-radiante cosmique considérable et agissant de façon continue ».

Quant aux atomes légers qui renferment un petit nombre d'enveloppes électroniques, ils seraient trop aisément traversés par ces radiations qui, agissant extérieurement à l'atome, ne pourraient provoquer une telle désintégration. NOBON suppose donc l'intervention de radiations de longueur d'onde plus petite, de dimensions inférieures à celles de l'électron.

Voici d'ailleurs les termes mêmes par lesquels l'auteur exprime sa pensée : nous les reproduisons intégralement dans la crainte de déformer, en les interprétant, des conceptions aussi personnelles et parfois même assez inattendues.

« Les phénomènes résultant de telles ondes intraatomiques échapperaient du reste à nos moyens d'investigations et de mesures actuels, et il est possible d'admettre que ces phénomènes seraient produits par des particules beaucoup plus petites et plus rapides que l'électron lui-même.

« Une étude sur les théories les mieux assises sur l'éther nous a conduit à admettre l'existence de sept petits mondes minuscules intérieurs les uns aux autres, correspondant à des longueurs d'onde de plus en plus petites. Si l'on admet les suppositions précédentes, on peut s'expliquer que l'électron acquiert des propriétés nouvelles sous l'action de phénomènes intra électroniques inconnus, qui sont peut-être la cause de la désintégration atomique dans la cellule vitale. Cette désintégration d'atomes légers s'expliquerait en effet difficilement par l'action de radiations plus longues, agissant extérieurement à l'atome.

« On doit donc admettre que les électrons dont sont composés les atomes légers de la cellule ont acquis « quelque chose » de nouveau sous l'action vitale, et qu'ils prennent sous cette influence une activité nouvelle, comparable à celle qu'acquièrent dans la matière minérale les atomes très complexes, tels que ceux du radium.

« Les électrons des corps à faible nombre atomique tels que ceux d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et de carbone subiraient sous l'action vitale propre de la cellule, un accroissement considérable d'énergie cinétique d'origine ultraradiante, susceptible de provoquer des désintégrations atomiques analogues à celles du radium.

« En d'autres termes, l'action vitale se manifesterait dans « l'électron vivant » sous une forme particulière encore inconnue, se traduisant par un accroissement de l'énergie cinétique des électrons.

« Les « électrons vivants » chassés de la cellule par voie de désintégration atomique apparaissent à l'extérieur sous la forme d'électrons minéraux ou « électrons morts » semblables à ceux provenant du radium ou de tous les corps désintégrés. Les électrons morts perdent hors de la cellule l'énergie cinétique supplémentaire qu'ils avaient acquise dans la cellule elle-même. Inversement, des substances à faible nombre atomique introduites dans un organisme vivant par la voie alimentaire par exemple, serviraient d'apport à des électrons susceptibles d'acquérir dans la cellule vitale une énergie cinétique considérable sous l'action des ultra-radiations extérieures. Les atomes vivants subiraient alors une désintégration continue, d'autant plus importante qu'ils renfermeraient un plus grand nombre d'enveloppes d'électrons. Les atomes complexes tels que ceux du carbone subiraient une désintégration plus rapide que ceux d'hydrogène.

« La désintégration se continuerait pendant toute la durée de la vie cellulaire, et les pertes d'énergie et de matière qui en résulteraient seraient compensés par un apport continu d'électrons nouveaux. Il se produirait un échange vital continu résultant d'un apport permanent d'électrons extérieurs dans l'organisme vivant.

« La présence dans la cellule de certains éléments complexes, tels que l'iode, serait susceptible d'y amener, tout au moins temporairement, un excédent de vitalité dont profiterait l'organisme tout entier.

« On pourrait émettre sur cette action physiologique connue, l'hypothèse suivante. Dans la classification périodique l'élément iode est inscrit parmi les corps radioactifs, bien qu'il ne le soit pas. L'iode occupe en effet la case (82-225) voisine de celle (84-221) représentant le polonium corp radioactif et de celle (86-227) de l'émanation, substance fortement radioactive.

« Une légère modification dans le groupement des électrons de l'atome d'iode, suffirait probablement pour le transformer en polonium ou en émanation. Toutefois, une telle modification n'a

pu encore être observée par les procédés physico-chimiques dont nous disposons, mais il se pourrait qu'après l'assimilation de l'atome d'iode par la cellule vitale, il y subisse sous les actions ultra-radiantes extérieures des transformations ionistiques l'amenant à un état de désintégration rapide susceptible de libérer une grande quantité d'énergie. Or, une partie de cette énergie libérée dans l'intérieur même de l'électron est susceptible, comme nous le savons, de se manifester partiellement sous forme d'énergie cinétique extérieure, tandis qu'une autre partie peut se traduire à l'intérieur même de l'électron sous forme d'action vitale d'ordre encore inconnu. » (78).

3. — Théorie de M. Paul Becquerel : la radioactivité du potassium.

Aux deux théories précédentes qui associent la vie à l'émission d'un rayonnement ionisant par les tissus végétaux et animaux, s'oppose une conception d'un autre ordre selon laquelle il ne serait pas forcément nécessaire de faire intervenir une quelconque « action vitale » ou même des considérations hasardeuses « d'électron vivant » et une émission problématique d'électrons par les diastases en activité.

On trouve déjà cette idée dans un travail ancien de TARCHANOFF et MOLDENHAUER (100) dont nous reparlerons dans la suite (1). Dans le mémoire paru en 1905, c'est-à-dire très peu de temps après les expériences de TOMMASINA (101), il est dit que « les radiations végétales ne sont pas un phénomène vital » et que « cette radioactivité est un phénomène purement physique ». Mais les auteurs ajoutent qu'il ne leur a pas été possible de préciser « la nature intime de ces rayonnements végétaux » c'est-à-dire de « déterminer s'ils se rapportent aux rayons α , β , ou γ du radium, ou s'ils sont d'un ordre différent ». Cette dernière remarque, jointe au fait que ces radiations végétales traversent une mince feuille de papier ou d'aluminium mais qu'elles sont retenues par une feuille de plomb, ouvre précisément la voie à l'interprétation basée sur la radioactivité du potassium que l'on en donne aujourd'hui, et son imprécision ne peut nous sur-

(1) Page 27.

prendre puisque la radioactivité de cet élément léger n'a été signalée que postérieurement à ce travail, en 1906.

Cette interprétation plus précise, M. Paul BECQUEREL qui, malgré son insuccès à mettre en évidence la Bioradioactivité, ne se refuse pas absolument à croire qu'elle existe, a le mérite de l'avoir dégagée en 1924 (8,9) et dans la suite M. J. STOKLASA (95, 96, 97) et ZWAARDEMAKER (115) s'y sont associés.

M. Paul BECQUEREL pense que la Bioradioactivité serait due à la présence constante dans les tissus vivants de l'élément potassium qui émet un rayonnement ionisant, et cela évidemment en dehors de toute action vitale.

Comme l'ont montré de nombreux travaux, le potassium est en effet indispensable à la vie des êtres vivants. De plus, il fait partie avec le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore, le sodium, le magnésium, le calcium, etc... de la catégorie des éléments biogénétiques que M. Gabriel BERTRAND désigne sous le nom d'*éléments plastiques*. Or ces éléments qui par leur rôle physiologique s'opposent aux éléments dits *catalytiques*, tels que le fer, le nickel, le cobalt, le manganèse, se trouvent toujours présents en forte proportion dans les organes des animaux et des végétaux dont par leurs multiples combinaisons ils constituent la base minérale.

Grâce à de nombreux travaux, en particulier à ceux de M. G. BERTRAND et de ses élèves, la répartition biologique du potassium est aujourd'hui très bien connue. Dans l'ensemble, les végétaux sont plus riches que les animaux. C'est ainsi par exemple, que les cendres des mammifères en renferment de 3,8 p. 100 (chien) à 7,8 p. 100 (souris) (42); tandis que chez les végétaux la teneur en potassium de leurs cendres qui varie entre de larges limites de 4,8 p. 100 (colza-graines) à 47,7 p. 100 (pomme de terre) se maintient en moyenne pour la plupart d'entre eux aux environs de 20 p. 100 (14,15).

D'autre part, que le potassium existe dans toutes les espèces végétales et animales et dans tous les organes de ces espèces, cela a été démontré de façon absolument indiscutable : certains cas supposés d'absence de potassium ont été reconnus inexacts dans la suite.

Dans ces conditions, il paraît en effet possible que cet élément actif soit à l'origine de la radioactivité des êtres vivants par

une émission de particules ionisantes. Bien entendu s'il en est ainsi, cette émission sera peu intense, le potassium n'étant que très faiblement radioactif, environ 1.000 fois moins que l'uranium.

Objet du présent travail.

Bien que cela puisse paraître un peu hâtif, puisqu'il n'en a pas été donné de solution définitive, le problème de l'existence de la Bioradioactivité quitte déjà le domaine du laboratoire pour entrer dans celui de la vulgarisation. On en peut juger par le nombre des publications récentes qui lui sont consacrées (11, 33, 62, 71, 77).

C'est surtout à la suite des travaux de NODON, que M. A. BERGET a signalés dans *la Revue Universelle* (11), que ce pas a été franchi. Or il est assez surprenant que dans ces divers articles, les résultats annoncés par NODON sont admis comme un fait rigoureusement établi sans qu'il soit fait état des critiques qu'ont suscitées les expériences d'où il les a déduits.

Tout récemment encore M. G. CUVIER, collaborateur de NODON, au cours du 21^e Congrès de la Société d'Hygiène qui s'est tenu à Paris en 1934, insiste sur l'importance de ces résultats, tout en regrettant qu'ils ne soient pas plus largement diffusés (35).

Il n'était donc pas sans intérêt de reprendre l'étude si controversée de la Bioradioactivité avec l'espoir de mettre à son service les progrès considérables réalisés au cours de ces dernières années dans la détection des rayonnements faiblement ionisants.

En présence des trois hypothèses concernant l'origine d'un tel phénomène, nous avons estimé que la théorie de M. Paul BECQUEREL paraissait la plus vraisemblable. Certes les découvertes récentes sur la désintégration artificielle des éléments sous l'action de rayonnements spécifiques laissent un certain intérêt à la théorie de NODON, mais on conçoit aisément l'arbitraire de ces conceptions originales qui reposent essentiellement sur l'existence d'ondes de fréquence extraordinairement élevée et d'une « action vitale » mal définie, qui dans l'état actuel de nos connaissances échappent les unes et les autres au contrôle de l'expérience. En ce qui concerne la théorie de M. PETRI, nous l'avons

dit, et cela paraît être l'opinion de l'auteur lui-même à l'heure présente, le mécanisme des réactions diastasiques pourrait garder toute sa valeur dans l'interprétation du rayonnement mitogénétique sans avoir une influence appréciable dans le phénomène que nous étudions.

Conformément aux idées de M. P. BECQUEREL, nous avons donc tenté de déterminer la part que le potassium occupe dans l'émission d'un rayonnement ionisant par la matière végétale et animale. De toute façon, même s'il est un jour démontré que les conceptions de NODON et de M. PETRI sont à retenir, il sera intéressant de connaître, par suite de la présence constante de cet élément dans les tissus des êtres vivants, quelle fraction de l'intensité du phénomène mesuré lui est imputable.

Par ailleurs, il ne nous paraît pas trop osé d'admettre a priori que le potassium n'est peut-être pas le seul élément radioactif responsable de la radioactivité des êtres vivants.

En même temps que lui, en effet, ceux-ci absorbent de façon normale au cours de leur développement un autre élément alcalin faiblement radioactif, le rubidium, ainsi que certains éléments lourds fortement radioactifs.

Comme on le sait, GRANDEAU utilisant la méthode spectroscopique de BUNSEN et KIRCHOFF a reconnu en 1863 la présence de petites quantités de rubidium dans les cendres de tabac, de café, de thé, de raisin, etc...

GRANDEAU avait même réussi à séparer et à doser cet élément dans les salins de betterave à raison de 1 gr. 3 de rubidium par kilogramme (45).

La répartition précise du rubidium dans les tissus vivants est encore très mal connue aujourd'hui, par suite des difficultés que présente son dosage; il se trouve en effet en très petite quantité dans la matière vivante et de plus la présence simultanée du potassium en gêne la recherche. Cependant les perfectionnements de la technique de dosage ont permis dans ces dernières années de montrer que cet élément est répandu de façon assez générale dans les tissus des végétaux et des animaux.

Cela résulte en particulier des travaux de W. O. ROBINSON, L. A. STEINKOENIG et C. F. MILLER (88) qui, en 1917, ont réussi à doser le rubidium dans un grand nombre de plantes. De leurs

résultats qu'a rassemblés le Traité de Physiologie de ROGER et BINET (89) nous retiendrons que chez les végétaux la teneur en rubidium, rapportée à 100 gr. de matière sèche, varie de 0 gr. 000.27 pour la betterave à 0 gr. 003.4 pour le tabac.

En ce qui concerne les animaux, J.H. SHELDON et H. RAMAGE (93), à la suite d'un travail sur l'analyse spectrographique des tissus humains, ont publié quelques résultats qualitatifs concernant le rubidium d'où il résulte que cet élément est également présent dans tous les organes, très sensiblement dans les mêmes proportions que le cuivre.

Enfin, il est aujourd'hui démontré que simultanément les plantes extraient du sol une fraction minérale constituée par certains éléments lourds radioactifs. Déjà en 1912, M. J. STOKLASA (94) signale au Congrès de Technologie et de Radiologie, à Prague, la présence du radium dans la sève de certains végétaux qui croissent sur des terrains radifères de Bohême. Ses recherches effectuées pendant 5 ans, de 1908 à 1912, montrent que, par litre de sève, *Betula alba* contient suivant la nature du sol de 5,24 à 9,36.10⁻¹² gr. de radium et *Acer platanoïdes* de 4,62 à 5,75.10⁻¹² gr. de ce même élément.

Depuis lors, comme on le verra dans la suite, un certain nombre de déterminations effectuées sur les cendres de végétaux et d'animaux confirment pleinement les résultats de STOKLASA. Tout récemment encore, dans une série de recherches particulièrement soignées concernant l'influence du radium sur la végétation, MM. LEPAPE et TRANNOY (60, 61) ont eu l'occasion de constater que « le plus souvent les plantes qui ont poussé dans des sols n'ayant pas reçu d'apport de radium présentent pour 1 gr. de cendres blanches une quantité de radium supérieure à celle contenue dans 1 gr. de terre fine du sol qui les a portées », et que cette quantité de radium est pour tous les végétaux analysés de l'ordre de 10⁻¹² gr.

On peut se faire une idée de la concentration relative des végétaux en ces trois éléments radioactifs, potassium, rubidium et radium, d'après quelques dosages effectués successivement sur une même plante par BURKSER, BRONSTEIN, KONDOGOURI et MILGEWSKA en 1931 (24). Nous extrayons de leur travail les résultats

suivants, les teneurs indiquées dans le tableau étant exprimées en gr. pour 100 gr. de matière fraîche :

Plantes	Cendres	K	Rb	Ra
Salicorne herbacée...	6,48	0,3337	0,000.125	$10,37 \cdot 10^{-13}$
Orge (graines).....	2,64	0,3712	0,000.026	$10,58 \cdot 10^{-13}$

Essayons alors d'évaluer approximativement le nombre de particules β émises individuellement par ces trois éléments lorsqu'ils se trouvent coexister dans les proportions ci-dessus.

En ce qui concerne le potassium, les estimations relatives au nombre d'électrons émis par gr. et par seconde sont très variables suivant les auteurs. ZWAARDEMAKER (114), qui calcule le nombre de particules β irradiées par le corps humain, adopte 2.000, tandis que M. STOKLASA (96,98) qui fait un calcul analogue pour le corps humain et pour la betterave évalue à 460 le nombre de particules par gramme de potassium et par seconde. Ces nombres, dont nous ignorons l'origine expérimentale, très différents déjà l'un de l'autre, sont en désaccord profond avec celui que M. MUHLHOFF (72) obtient en 1930 par une numération directe au tube compteur d'électrons. Nous adopterons ici le nombre de MUHLHOFF qui par son origine inspire toute confiance, c'est-à-dire 620 par minute et par gr. d'élément.

Comme on le sait, le rayonnement du rubidium est plus intense que celui du potassium. Le rapport des activités de ces deux éléments a été évalué à différentes reprises : ici encore les nombres obtenus sont extrêmement variables d'un auteur à l'autre. Il nous paraît logique d'adopter le nombre enregistré par MUHLHOFF lui-même, à savoir que 1 gr. de Rb émet par minute 8.800 particules β .

Enfin RUTHERFORD (1) évalue à $5,3 \cdot 10^{-10}$ le nombre de ces particules émises en 1 seconde par le dépôt actif du radium en équilibre avec 1 gr. de cet élément.

En prenant ces divers chiffres pour base du calcul nous pouvons établir le tableau suivant dans lequel nous indiquons pour chaque élément, le nombre de particules β émises par minute par 100 gr. de matière fraîche ou par gramme de cendres :

(1) Cité par Mme CURIE, *Traité de Radioactivité*, t. II, p. 31, 1910.

Plantes	Nombre de particules β émises par minute					
	par 100 gr. de matière fraîche.			par gramme de cendres		
	K	Rb	Ra	K	Rb	Ra
Salicorne herbacée....	207	1,1	3,3	32	0,17	0,5
Orge (graines).....	230	0,23	3,3	87	0,1	1,2

Il faut évidemment tenir compte, dans l'évaluation définitive, de l'absorption spécifique de ces rayonnements par la matière ionisante elle-même, et tout particulièrement du fait que le rayonnement du rubidium est très peu pénétrant.

On se rend compte dès à présent par ce calcul approximatif de l'influence prépondérante du potassium dans l'émission du faible rayonnement que nous nous proposons de détecter. Il apparaît même déjà que, très probablement, le potassium est le seul élément dont il nous sera possible de déceler la présence en opérant d'ailleurs sur les cendres des végétaux, car avec les tissus vivants il est à craindre, comme nous allons l'expliquer, que nous soyons au-dessous de la limite de sensibilité des appareils de mesure.

Bien entendu, le problème de la Radioactivité des êtres vivants examiné sous l'aspect que nous venons de préciser se trouve considérablement restreint. Comme nous l'avons déjà remarqué, il n'est plus question alors de la Bioradioactivité proprement dite au sens où nous l'avons définie. Aussi n'est-il plus nécessaire, lorsqu'on se propose de détecter leur rayonnement ionisant, que les végétaux et les animaux sur lesquels on expérimente soient à l'état vivant : leur radioactivité, si elle est décelable, doit subsister lorsque leurs tissus sont morts.

Précisément cette particularité va nous permettre d'aborder le problème avec quelques chances de succès. En effet, la difficulté expérimentale, lorsqu'on veut mettre en évidence l'existence d'une telle radioactivité, réside dans le fait que le rayonnement ionisant à mesurer est très peu intense. Comme nous venons de le montrer sur deux exemples précis, les tissus frais émettent un très petit nombre de particules β dont une fraction importante sera nécessairement absorbée par les tissus eux-mêmes

étant donné que les éléments actifs y sont fortement disséminés. D'autre part il n'est guère possible, avec les appareils de mesure très sensibles que nous avons utilisés, de mettre en expérience, sous une épaisseur obligatoirement faible pour diminuer cette absorption, une quantité importante de tissus vivants. Dans la nécessité où l'on se trouve de travailler avec une petite quantité de matière, il est donc indispensable de concentrer au maximum les éléments actifs.

Ces remarques nous ont tout naturellement imposé la marche à suivre dans les essais que nous avons entrepris. Tout d'abord, comme le potassium dont on peut espérer manifester le plus aisément la présence par la détection de ses effets ionisants est réparti en proportion plus grande chez les végétaux que chez les animaux, nous avons adopté les végétaux comme matériel d'expérience. Nous avons réalisé la concentration en éléments radioactifs par la combustion des plantes, à température aussi basse que possible pour ne pas éliminer les sels de potassium volatiliables, de façon à obtenir les cendres totales ou cendres grises. Nous avons alors mesuré la faible radioactivité de ces cendres.

On pourra objecter que le problème envisagé sous cet angle n'a qu'un intérêt limité. Il peut en effet paraître évident a priori que les cendres totales des tissus vivants émettent sans aucun doute un rayonnement, dû précisément à la présence du potassium. Par exemple ZWAARDEMAKER (115) écrit : « Il est entendu que les cendres riches en potassium, sans radium, rayonnent faiblement ». Quant à nous, dans le domaine expérimental, une telle affirmation ne nous suffit pas. Il nous paraît nécessaire de la soumettre au contrôle de l'expérience, qui d'ailleurs n'est pas aussi aisé qu'on serait tenté de le croire. Nous en voulons seulement pour preuve les échecs que M. L. PETRI (83) et M. VACCARI (103) ont subis à vouloir l'exercer, au cours des expériences dont nous avons précédemment signalé l'objet. En particulier, comme VACCARI utilise une quantité de cendres de l'ordre de grandeur de celle qui nous a donné des résultats très positifs, nous pensons que son insuccès tient à ce que son appareil de mesure, qui n'est pas précisé, manquait de sensibilité.

Dans nos essais, nous avons adopté l'électromètre à fil du type Pohl qui, selon l'avis autorisé de Mme P. CURIE devait très

probablement convenir pour ce genre d'études. Disons tout de suite que, dans les conditions expérimentales où nous utilisons cet appareil, ces prévisions se sont trouvées pleinement confirmées en ce qui concerne la mesure de l'activité des cendres totales.

Dans un second stade de notre étude, nous avons mis en expérience des végétaux à l'état sec. Nous avons obtenu également dans cette voie quelques résultats très satisfaisants. Mais nous nous trouvons ici à la limite de sensibilité de l'électromètre de mesure. Nous avons eu alors l'idée de mettre à profit les perfectionnements récents apportés dans la technique des tubes-compteurs d'électrons pour confirmer d'abord nos résultats relatifs à la radioactivité des cendres totales et de la matière à l'état sec, et pour aborder enfin, dans un dernier stade de nos expériences, le problème de la Bioradioactivité proprement dite par des essais sur la matière vivante elle-même.

Remarquons aussi que le lessivage des cendres totales nous a permis de concentrer encore le potassium et le rubidium dans l'extrait sec de la partie soluble et de séparer en même temps dans les cendres blanches résiduelles les éléments lourds radioactifs. Nous verrons dans la suite comment, s'il ne nous a pas été possible de déceler la présence du rubidium dans l'extrait sec, nous avons réussi à situer par la détection de leur rayonnement au tube-compteur les éléments fortement actifs dans la partie insoluble des cendres.

Le procédé d'étude que nous avons adopté nous donne donc le moyen de resserrer de proche en proche le domaine de sensibilité des appareils de mesure et d'envisager l'espoir de résoudre le problème de la Bioradioactivité dans toute son ampleur lorsque la sensibilité prévue sera atteinte. Car, il est important de le souligner ici, la conception selon laquelle le potassium est responsable de la radioactivité des êtres vivants n'exclue pas à priori l'existence de la Bioradioactivité proprement dite. Pour établir s'il faut faire appel à une intervention quelconque de la vie dans l'émission d'un rayonnement ionisant, il suffira comme le suggère M. Paul BECQUEREL (8,9) lorsque nous saurons mesurer la très faible radioactivité des organismes vivants de la comparer à celle qu'ils émettent après leur mort « leurs poids restant constant ».

L'exposé du présent travail comprend deux parties.

Dans la première partie nous avons analysé les nombreux travaux contradictoires qui ont été consacrés à la recherche de l'existence de la Bioradioactivité et dont nous n'avons indiqué dans ce qui précède que les résultats généraux. Cette recherche a été abordée par la méthode directe inspirée du travail initial de TOMMASINA qui, ainsi que nous l'avons précisé, s'intéresse à la détection du rayonnement ionisant émis par les végétaux et les animaux. Puis s'est développée une méthode indirecte qui ne se rattache que d'assez loin au problème qui nous occupe. Cette méthode consiste en effet à doser dans les tissus des êtres vivants les éléments fortement radioactifs qu'ils ont normalement absorbés. Si nous avons songé à l'exposer ici, c'est qu'il nous a été donné de rencontrer maintes fois (95, 96, 97, 98) des assertions de ce genre, sous la signature de M. STOKLASA. « De nos recherches il découle clairement qu'une Bioradioactivité est présente assurément dans les organes des plantes. Par des mesures exactes, nous avons trouvé que les plantes qui ont été arrosées avec une eau radioactive manifestent nettement une radioactivité, et aussi que celles qui poussent en liberté sont radioactives. Nous avons étudié, pendant la floraison, la composition de la sève, des fleurs et des tissus minéraux, ainsi que la radioactivité chez *Betula alba* et *Acer platanoïdes*. »

Après avoir indiqué la teneur en radium d'un litre de sève M. STOKLASA poursuit. « Comme on le voit, la sève manifeste une radioactivité sensible. » Plus loin, on note dans le même ordre d'idées : « Nous avons constaté une Bioradioactivité chez les plantes qui ont poussé près de Joachimsthal » (95).

Du fait donc que la teneur des tissus végétaux en éléments radioactifs a été mesurée, il semblerait que le problème de la Bioradioactivité a été résolu. Tel n'est point notre avis. Mais, bien qu'il y ait là, à n'en pas douter, deux problèmes distincts, nous avons tenu à développer successivement les résultats obtenus par l'une et l'autre méthodes de recherche. La connaissance de la teneur en radium des êtres vivants nous intéresse d'ailleurs tout particulièrement ici, de par la façon même dont nous avons conçu l'étude de leur radioactivité.

A la suite de cette étude, nous abordons enfin, dans la deu-

xième partie, l'exposé de nos travaux personnels, dont une courte conclusion nous permettra de dégager les résultats.

**

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Chimie Biologique de la Faculté des Sciences de Paris, à l'Institut PASTEUR.

Je tiens à adresser à M. Gabriel BERTRAND, Directeur du Laboratoire, Membre de l'Institut, sous l'autorité duquel ce travail a été poursuivi, en même temps que l'expression de ma très vive admiration, l'assurance de ma profonde gratitude et mes remerciements pour l'intérêt et l'aide constants qu'il a bien voulu me témoigner.

A tous les travailleurs du Laboratoire je dis ma cordiale sympathie.

A l'origine de ce travail, Mme Pierre CURIE avait bien voulu s'intéresser à mes recherches et me donner accès dans son Laboratoire pour le choix d'un électromètre sensible. Je me permets d'adresser ici un hommage ému à sa mémoire.

A Mme I. CURIE-JOLIOT et à M. F. JOLIOT, Lauréats du Prix NOBEL, qui à cette occasion m'ont aimablement accueilli à l'Institut du Radium, j'exprime tous mes remerciements pour leurs précieux conseils.

M. Maurice de BROGLIE, Membre de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences, a mis obligeamment à ma disposition les moyens puissants dont il a doté son Laboratoire de Physique des Rayons X pour la détection des rayonnements ionisants par les tubes-compteurs. Je me permets de lui adresser l'expression de ma très vive gratitude.

Je prie M. L. LEPRINCE RINGUET, Sous-Directeur du Laboratoire, d'accepter mes sincères remerciements pour son aide si bienveillante.

M. le Professeur COTTON, Membre de l'Institut, Directeur du Laboratoire des Recherches Physiques à la Sorbonne, m'a fait l'honneur de faire partie de mon jury de thèse. Il m'est très agréable de l'en remercier vivement. En rappelant ici que sous

sa haute et bienveillante direction j'ai commencé à m'intéresser à la recherche scientifique, qu'il me soit permis de lui renouveler mes très respectueux sentiments de reconnaissance.

Je n'oublie pas non plus que M. A. ANDANT, Assistant au Laboratoire des Recherches Physiques, m'a très amicalement guidé dans cette voie; je le prie de croire à ma profonde gratitude.

PREMIÈRE PARTIE

LA BIORADIOACTIVITÉ

CHAPITRE I

DÉTECTION DU RAYONNEMENT ÉMIS PAR LES ÊTRES VIVANTS

C'est donc en 1904 que TOMMASINA (101) publie le premier travail sur la Bioradioactivité. Il constate que des végétaux fraîchement cueillis (herbes, fruits, fleurs, feuilles) et des oiseaux vivants provoquent la diminution de la charge d'un électroscope sensible, tandis que les mêmes végétaux desséchés et les divers objets du laboratoire n'ont aucune action. TOMMASINA attribue cette propriété à l'émission d'un rayonnement ionisant par la matière vivante qui serait ainsi faiblement radioactive. Il trouve même que le rayonnement est plus intense chez les oiseaux adultes que chez les jeunes, chez les individus en action que chez ceux qui sont au repos.

Bien qu'il ne soit donné aucune valeur numérique qui puisse nous renseigner sur l'ordre de grandeur du phénomène observé, l'auteur n'hésite pas à déduire de ces faits d'observation que, nous l'avons déjà signalé, l'intensité de ce rayonnement paraît être proportionnelle à l'intensité de l'énergie vitale.

Dans ses expériences, TOMMASINA utilise l'appareil d'ELSTER et GEITEL (37) dans lequel l'électroscope et sa chambre d'ioni-

sation sont enfermés dans un grand récipient cylindrique en métal noirci sur ses deux faces, dans le but d'empêcher l'action dispersive des rayons ultra-violet.

Depuis lors, l'étude de la Bioradioactivité s'est poursuivie à la fois dans le règne végétal et dans le règne animal, et à maintes reprises les résultats de TOMMASINA ont été contestés.

Déjà en 1905, Paul BECQUEREL (5) reprend ces expériences sur les végétaux et il conclut par la négative. Il examine des graines de pois en germination ou en vie latente, des petits rameaux de buis et des mousses, en ayant soin d'opérer avec un électroscope essuyé de toutes parts, puis chauffé légèrement pour que toutes ses parois soient bien sèches, enfin, de disposer à côté de l'objet en expérience un morceau de baryte anhydre pour absorber toute trace d'humidité. Dans ces conditions, il lui a été impossible de mettre en évidence une décharge appréciable de l'électroscope, sensible pourtant à une radioactivité 300 fois plus petite que celle d'un disque d'oxyde d'uranium de 1 cm. de diamètre pris comme unité. M. P. BECQUEREL attribue alors le succès des expériences de TOMMASINA à la décharge produite par la transpiration des végétaux. « fraîchement cueillis » que l'auteur introduisait directement dans l'appareil de mesure. Il en fait la démonstration expérimentale de la façon suivante.

Il effectue un certain nombre d'essais préliminaires, sans végétaux, en exposant à l'électroscope successivement un tube à essai vide, le même tube contenant 1 cm³ d'eau, enfin ce dernier tube à côté duquel il dispose un morceau de baryte anhydre. Tandis que le tube de verre n'accélère pas la décharge de l'électroscope quand il est vide, il agit au contraire de façon très apparente lorsqu'il contient de l'eau, mais cette action dispersive disparaît lorsqu'on opère en présence de la baryte. Renouvelant ensuite ces expériences sur des graines tuées sèches, sèches en vie ralentie, en germination dans 1 cm³ d'eau, sans baryte, avec baryte, ou bien sur des mousses et des rameaux de buis dans des conditions analogues, il observe de façon très régulière les résultats précédents.

Mais TOMMASINA (102) répondant à cette objection de P. BECQUEREL affirme que le phénomène observé par lui est bien celui d'une Bioradioactivité; il précise même que cette radioactivité

spéciale peut se transmettre à des corps quelconques comme la radioactivité induite ordinaire.

A la même époque BORCHERS (18) signale l'ionisation provoquée par des pétales de géranium et TARCHANOFF et MOLDENHAUER (100) mettent en évidence le pouvoir ionisant de certaines graines de céréales (orge, avoine, blé). Ces derniers, qui utilisent successivement l'électroscope et la plaque photographique, constatent même que tout particulièrement les pellicules translucides accolées au-dedans de l'enveloppe extérieure des graines sont fortement ionisantes, alors que les autres parties de la graine ne manifestent qu'une radioactivité faible. D'où la déduction qu'avant la germination la radioactivité doit être localisée dans ces pellicules internes.

TARCHANOFF et MOLDENHAUER font ensuite germer les graines dans du papier à filtrer imbibé d'eau. Ils croient pouvoir affirmer que la radioactivité se distribue entre toutes les parties de la plante en croissance ou de la plante complètement développée, de telle sorte que, d'une façon générale, les racines sont fortement actives, les tiges beaucoup moins, tandis que la radioactivité des feuilles se montre à peine et que les fleurs sont inactives. De plus, observent-ils, « la radioactivité naturelle des plantes diminue pendant la croissance pour atteindre son minimum vers la fin du développement ».

En dehors de ces faits généraux, les auteurs font quelques constatations assez particulières : certains organes qui, lorsqu'ils restent intacts, ne manifestent pas de radioactivité appréciable, par exemple des feuilles, en donnent des preuves très nettes pendant leur dissection ; les nervures de la feuille mises à nu déchargent vivement l'électroscope, de même que les pellicules internes de la tige d'une céréale quelconque.

La conclusion de TARCHANOFF et MOLDENHAUER est qu'une substance radioactive pénètre presque toutes les parties d'une plante et que son action directe ne peut toujours se manifester à cause des autres tissus qui entrent dans la composition des végétaux. Cette interprétation conduit les auteurs à penser que la radioactivité des êtres vivants ne peut être attribuée aux phénomènes vitaux de leurs organismes mais qu'elle est un phénomène purement physique. Voici d'ailleurs les faits d'expérience qui, à ce sujet, leur servent d'arguments. D'abord les pellicules

internes de la paille de blé, c'est-à-dire d'une substance déjà morte, ont manifesté dans leurs expériences une radioactivité très prononcée. Ensuite, les racines de l'orge, du seigle et de l'avoine radioactives au moment de la germination paraissent perdre leur activité lorsqu'elles sont portées à l'ébullition et par conséquent définitivement tuées, mais elles ne tardent pas à la récupérer.

Par ailleurs, comme l'avait signalé TOMMASINA, pour eux aussi les radiations végétales peuvent provoquer une radioactivité induite sur des corps mis en contact avec les parties radioactives des végétaux. Ainsi une feuille de papier à cigarette deviendrait active après contact avec des racines et serait capable alors d'impressionner une plaque photographique.

Tous ces faits conduiraient donc à penser que les végétaux émettent bien, comme l'affirmait TOMMASINA, un rayonnement ionisant, avec toutefois cette différence essentielle que pour TARCHANOFF et MOLDENHAUER ce rayonnement n'est pas un phénomène vital. Malheureusement il est difficile de se faire une opinion, car le mémoire est purement descriptif; on n'y trouve aucun renseignement d'ordre quantitatif, qui permette de se rendre compte de l'intensité du phénomène annoncé, aucune donnée sur le mode opératoire et sur la nature de l'électroscope utilisé. Enfin, lorsqu'on met en œuvre la méthode photographique, on sait qu'il faut éviter l'intervention de certains agents physiques tels que pression, humidité, etc... qui introduisent des causes d'erreur par leur action sur le gélatinobromure d'argent; c'est pourquoi les photographies que contient le mémoire, dont la reproduction est parfois très imparfaite, ne paraissent guère probantes. Alors on se demande si les auteurs n'ont pas été souvent victimes au cours de leurs nombreux essais d'une erreur expérimentale lorsqu'on remarque, comme ils le font eux-mêmes, les anomalies que voici :

« Ces radiations végétales se manifestent d'une manière plus intense à l'air libre, et elles disparaissent presque complètement quand les racines sont entre deux plaques de verre ou de carton, bien que leurs bouts soient libres.

« Ensuite, l'action des radiations végétales sur un électroscope chargé se manifeste d'abord d'une manière beaucoup plus

intense que celle des préparations de bromure de radium, puis cette action s'affaiblit et devient très lente, tandis que la décharge provoquée par les sels de radium se fait d'une manière régulière depuis le commencement jusqu'à la fin » (1).

Egalement, comme le fait remarquer C. ACQUA (1), il est étrange que pour les racines l'organe entier soit actif alors que pour les feuilles il faut opérer une dissection afin que la radio-activité se manifeste.

Malheureusement aussi, on ne peut que rester sceptique lorsque C. ACQUA lui-même, essayant de reproduire en 1907 les expériences ci-dessus, aboutit à des conclusions absolument négatives. Et n'est-il pas frappant que, chaque fois que l'action dispersive de l'humidité se trouve évitée, le rayonnement des êtres vivants reste inappréciable à l'électroscope? C'est encore ce qui a lieu en effet, comme précédemment dans les expériences de M. BECQUEREL, dans les essais de C. ACQUA qui, utilisant un électroscope dont la tige munie de la feuille sensible en aluminium est très bien isolée par un bouchon de soufre, prend la précaution d'opérer en présence de carbure de calcium pour éviter les déperditions de charge par l'humidité. Dans de telles conditions expérimentales, les pellicules translucides détachées des graines sèches et étalées sur une surface de 5 cm² ne déchargent plus l'électroscope, pas plus que la pellicule interne de la paille de blé.

Dans la suite, les recherches sur la Bioradioactivité sont reprises en France, en 1909, avec un soin tout particulier par THOMAS et LANCIEN (56, 57) qui utilisent simultanément la méthode du quartz piézoélectrique et un électroscope à feuille d'aluminium avec bouchon isolant d'ambre. Toutes les précautions paraissent avoir été prises en vue d'éliminer les causes d'ionisation extérieures.

De leurs nombreuses expériences qui ont porté d'abord sur un grand nombre d'animaux et sur certains de leurs organes, il résulte que ni grenouilles, ni cobayes, ni lapins n'ionisent les

(1) Ce phénomène est probablement dû à l'influence de l'ionisation spontanée de l'air qui, négligeable lorsqu'il s'agit du radium, devient prépondérante vis-à-vis des faibles activités mesurées ici; or il n'apparaît pas qu'il en soit tenu compte dans ce travail. Peut-être aussi ces anomalies résultent-elles d'une pénétration des charges électriques qui se produit couramment lorsque la tension vient d'être appliquée à un électroscope.

gaz. Leurs études sur les végétaux, qui se sont exercées sur plus de 300 plantes (géraniacées, agaves, crassulacées, mimosées, légumineuses, aroïdes, pipéracées, rubiacées, convolvulacées, palmiers) ne conduisent pas davantage à un résultat positif.

A l'aide d'un dispositif spécial, THOMAS et LANCIEN ont également montré que les gaz exhalés par les mimosées en pleine croissance ne sont pas actifs.

Devant l'ensemble de ces résultats négatifs, les auteurs n'hésitent pas à penser que les conclusions différentes annoncées antérieurement peuvent probablement s'expliquer par des fuites électriques qu'eux-mêmes n'ont réussi à éviter qu'après de multiples essais. D'ailleurs le soin avec lequel leurs expériences paraissent avoir été conduites nous donne la garantie que, si elles n'ont pas permis de déceler l'existence de la Bioradioactivité, c'est que l'intensité du courant d'ionisation à mesurer est au-dessous de la sensibilité des appareils de mesure utilisés.

A la même époque aussi, Daniel BERTHELOT (13), ainsi qu'il le signale, en 1924, à l'Académie des Sciences, ne réussit pas davantage. Ses nombreuses expériences lui ont montré que certaines apparences d'une radioactivité considérable sont manifestement dues à l'action de l'humidité. Une telle assertion de la part de ce savant est évidemment d'importance, et il est vraiment remarquable, à cet égard, qu'elle soit en complet accord avec l'opinion non moins autorisée de M. P. BECQUEREL.

En 1913, ERNEST et ZACEK, dans le but de contrôler une observation de BERGWITZ (12), ont eu l'occasion de réaliser une expérience qui est également du domaine de la Bioradioactivité (38). BERGWITZ ayant remarqué que la dispersion de la charge d'un électroscope est plus grande dans un bois de sapins qu'à découvert, ERNEST et ZACEK se sont demandés si cette augmentation de la conductibilité de l'air n'était pas due, par hasard, à une ionisation particulière provoquée par les feuilles des arbres. A cet effet, ils introduisent un rameau vert de *Picea excelsa* dans une chambre d'ionisation en relation avec un électromètre de Schmidt; or le rameau vert ionise l'air, alors qu'à l'état sec il n'a pas d'action, le degré d'humidité étant le même dans les deux cas. ERNEST et ZACEK ne donnent pas d'explication de ce fait, mais L. PETRI (82), sans exclure une erreur d'expérience possible, pense que dans la vapeur d'eau transpirée du rameau

vivant était contenue de l'émanation du radium absorbée par le sapin en même temps que l'eau circulant dans le terrain, très probablement radifère, étant donné que l'observation était faite en Bohème.

A partir de 1913, l'étude de la Bioradioactivité reste longtemps abandonnée. Il faut attendre l'année 1924 pour que soient publiées les expériences de NOBON que nous avons déjà signalées (75, 74). Avant d'en faire l'analyse, précisons les résultats acquis en 1913, à la suite des nombreux essais que nous venons de résumer.

1° — Si l'on se met à l'abri des causes d'ionisation extérieures, en particulier de l'influence de l'humidité (P. BECQUEREL, C. ACQUA, D. BERTHELOT), de fuites électriques dans les appareils de mesure (THOMAS et LANCIEN) ou du dégagement de l'émanation du radium absorbée par les plantes (ERNEST et ZACEK), la radioactivité des êtres vivants que TOMMASINA signale et que confirme le travail de TARCHANOFF et MOLDENHAUER, n'est pas décevable avec les appareils de mesure d'usage courant à cette époque.

2° — Si cette radioactivité existe, le courant d'ionisation qui la traduit est certainement très peu intense, puisqu'il est inférieur au plus petit courant mesurable par la méthode du quartz piézo-électrique ou par un électroscope à feuille isolé au soufre ou à l'ambre.

Aussi avons-nous le droit d'être surpris, avec M. P. BECQUEREL, lorsque NOBON annonce à l'Académie des Sciences que la radioactivité végétale, variable suivant la nature de la plante et suivant l'organe considéré, plus élevée sur les organes reproducteurs (pistils et étamines) ⁽¹⁾ que sur les feuilles, est 4 à 5 fois supérieure à celle de l'uranium: que la radioactivité animale spécialement observée chez les insectes varie suivant la nature de ceux-ci et suivant leur degré d'activité et de vitalité et qu'elle dépasse parfois celle d'un échantillon de sulfate de baryum-radium 15 fois plus actif qu'un étalon d'uranium de poids sensiblement égal à celui des animaux utilisés.

(1) Résultat en contradiction avec celui qu'ont observé TARCHANOFF et MOLDENHAUER (p. 27).

Et alors, la conclusion de P. BECQUEREL, que nous avons déjà rapportée, nous semble assez naturelle, à savoir que NODON est victime de la transpiration des végétaux et des animaux qu'il introduit dans son électroscope.

M. BECQUEREL pense également à l'action dispersive des rayons ultra-violets solaires qui devaient décharger l'appareil de mesure. NODON observe en effet que la radioactivité cellulaire est plus grande au soleil que dans une pièce obscure et qu'elle varie suivant le degré de l'activité solaire. Faisons d'ailleurs la remarque, qui est essentielle puisqu'elle est le point de départ de la théorie de NODON sur l'origine de la Bioradioactivité, que ces variations journalières « suivent » celles que l'auteur croit avoir également observées dans la radioactivité du radium.

En ce qui concerne la sensibilité des appareils de mesure, NODON estime que l'emploi des modèles d'électromètres d'usage courant en 1926 (76) ne permet pas d'effectuer avec un degré de précision suffisante l'étude des variations de la radioactivité du radium sous l'action solaire ou indirecte et de la radioactivité de la cellule vivante. Aussi a-t-il fait construire un électromètre qu'il croit être spécialement destiné à l'étude de ces phénomènes radioactifs de faible intensité. En voici la description.

« Cet instrument de capacité électrostatique aussi réduite que possible se compose d'une petite tige verticale, fixée sur un support en quartz dépoli dont le pouvoir ionisant est excellent dans l'air. On constate en effet qu'une charge de 40 volts ne donne lieu à aucune perte appréciable après 30 minutes. Une petite lunette grossissante munie d'une échelle micrométrique permet de déterminer la position d'une feuille d'aluminium de quelques mm. de longueur suspendue en face de la tige chargée. Cette tige ainsi que la feuille d'aluminium sont enfermées dans une enceinte métallique close dans laquelle se trouve une petite cage entourée d'un réseau à larges mailles. On place dans cette cage les objets à étudier (insectes, petits animaux, plantes, substances minérales). Un récipient renfermant une substance desséchante est disposé à l'intérieur de la caisse métallique au-dessous de la cage. Un bouchon de métal disposé au-dessus de la tige chargée permet de fermer la caisse après chaque charge de l'électromètre.

« L'instrument accuse des variations de charge de 2 volts.

Grâce à sa capacité très faible, pratiquement négligeable, à la longue conservation de la charge à vide ainsi qu'à sa grande sensibilité et sa constance, cet électromètre... »

Pour apprécier les qualités de cet appareil on voudrait avoir quelques données sur sa sensibilité à la charge, en prenant par exemple pour élément de comparaison la faible activité du potassium comme le font aujourd'hui de nombreux expérimentateurs (22, 70, 83). Enfin, lorsqu'il compare son électromètre à ceux qui étaient en usage jusqu'en 1926, NODON paraît ignorer l'existence des électromètres à fil de très grande sensibilité qui, comme nous l'avons déjà dit, conviennent très bien à ce genre d'études. Quoiqu'il en soit, le détail des expériences de NODON, que dans sa note à l'Académie, il déclare devoir donner dans un mémoire plus développé et que nous croyons avoir découvert dans l'article de la *Revue Scientifique* déjà cité (78), est en lui-même tout à fait décevant. La cause en serait-elle due à des erreurs matérielles de transcription? En tout cas, il nous a été impossible de nous faire la moindre opinion sur les résultats du tableau de valeurs numériques qui accompagne l'exposé de l'auteur.

Reconnaissons toutefois que dans une deuxième série d'expériences, la méthode photographique permet à NODON de confirmer entièrement, dit-il, les résultats de ses mesures électrométriques. Voici comment. L'émulsion de la plaque photographique est recouverte d'un tissu en toile à larges mailles, pour éviter son contact direct avec les objets en expérience. Après 20 heures d'exposition, son échantillon de sulfate de baryum donne déjà une forte impression, alors qu'un insecte vivant (*Poecicolaris*) exerce une impression plus faible et qu'une feuille verte permet d'obtenir un voile léger. Des mesures comparatives effectuées à différentes époques à l'électromètre ont établi que la radioactivité de *Poecicolaris* en pleine vitalité varie par unité de poids entre 8 et 13 fois celle de l'uranium et que celle des feuilles mortes varie entre 2 et 3 fois cette même radioactivité. NODON ajoute que « les impressions photographiques lui ont permis d'apprécier des rapports d'activité du même ordre de grandeur ».

Cette conclusion résulte-t-elle de mesures photométriques précises effectuées sur les plaques sensibles? L'auteur ne donne aucun renseignement à ce sujet.

Ces résultats sont malheureusement en contradiction avec

ceux que BURKSER, BRUN et BRONSTEIN (22), ont obtenus par la même méthode en 1927. Ces auteurs ont effectué un certain nombre de recherches avec des temps d'exposition variant de 24 heures à 3 jours, à l'aide de plaques Aéro-photo de très grande sensibilité ou de 6 jours avec des plaques également très sensibles Agfa-chromo-isolar. Dans ces conditions, les feuilles fraîchement coupées de plantes diverses (verveine, œillet, tabac, rosier, géranium) n'exercent aucune action photographique. En outre, aucune différence ne se manifeste si, au lieu de laisser séjourner dans l'obscurité les objets en expérience posés sur l'émulsion des plaques sensibles elles-mêmes entourées de papier noir, on expose le tout en pleine lumière. Cette constatation paraîtrait donc infirmer l'opinion de NODON suivant laquelle les ondes ultrapénétrantes émises par le soleil joueraient un rôle prépondérant dans le phénomène de la Bioradioactivité.

Ces mêmes auteurs échouent encore lorsqu'ils s'efforcent, au cours de ce même travail, de contrôler les résultats de NODON par la méthode électrométrique. A cet effet, ils étalent en couche épaisse des feuilles de végétaux et leurs tiges sur une surface de 380 cm², au fond d'une chambre d'ionisation d'une capacité de 10 litres. Cette chambre est reliée à un électroscope d'Elster capable de déceler la déperdition de charge due à la très faible activité du potassium. L'électroscope a une capacité de 13 cm. 6 et il est utilisé sous une tension d'environ 200 volts. Les auteurs tiennent compte dans leurs mesures de la fuite spontanée de l'appareil.

Les feuilles et les tiges de *Diantus caryophilus*, de *Lysimachia*, de *Nicotiana tabacum* se sont montrées inactives. Par contre, les feuilles de certaines autres plantes fraîchement cueillies (*Iris germanica*, *Syringa vulgarica*, *Phaleum pratense*) produisent une très faible ionisation environ 10 fois moins intense que celle des sels de potassium dans des conditions analogues; mais ces plantes, actives à l'état frais, n'ont aucune action, à une exception près, lorsqu'elles sont desséchées.

Il ne semble pourtant pas que la faible ionisation observée dans le premier cas soit due à l'action de l'humidité, parce que le fait d'humecter d'eau les feuilles sèches ne paraît avoir qu'une influence négligeable. Les auteurs croient pouvoir attribuer la très faible ionisation observée alors, au fait que « les processus

chimiques qui se manifestent dans les plantes ont pour conséquence une émission de gaz ». En tout cas, précisent-ils, cette ionisation n'est certainement pas comparable à celle des dérivés de l'uranium.

Avant de terminer cet exposé, il nous reste à analyser les premières expériences de M. L. PETRI (83) qui ont été effectuées en 1922 dans le but de rechercher si les diastases en activité peuvent exercer une action ionisante et que l'auteur a cru devoir rattacher à cette époque (82), comme nous l'avons signalé, au phénomène de la Bioradioactivité. Bien que M. PETRI abandonne aujourd'hui cette conception, nous croyons intéressant de mentionner les essais qui l'y avaient conduit.

Dans ces essais, l'auteur constate que des préparations sèches de certaines diastases du commerce, en poudre, sont inactives, tandis que des tissus végétaux vivants riches en diastases, tels que le scutellum des graines de *Zea maïs* et de *Soja hispida* en germination sont particulièrement actifs. Il expose à son micro-électroscope Wilson la bouillie obtenue en triturant dans un mortier avec de la poudre de verre et de l'eau distillée 5 gr. de scutellum isolé des graines en germination. Il observe alors que cette bouillie est active, mais que cette activité, qui se manifeste même à travers une feuille de carton alors qu'une lame d'étain l'absorbe, n'est que temporaire. La bouillie reste en effet active pendant 20 ou 30 minutes, puis son action ionisante s'atténue, à moins qu'elle ne soit recouverte d'une feuille de carton, auquel cas l'activité persiste pendant une heure. Cette ionisation, nulle lorsqu'on utilise des graines non germées, est plus ou moins intense suivant que la bouillie est préparée à partir de graines plus ou moins germées; elle passe par un maximum avec le scutellum de graines prises au 3^e jour de la germination pour le maïs. Cette activité maximum a été comparée à celle d'un étalon d'uranium; elle correspond à un courant de saturation compris entre $0,74.10^{-15}$ et $0,17.10^{-14}$ ampère par cm^2 .

Lorsque la bouillie a été portée pendant 20 minutes à 100° ou qu'elle a été additionnée de sublimé, conditions dans lesquelles l'activité diastasique est annihilée, elle n'est plus ionisante.

De cette ensemble de faits, M. PETRI croit pouvoir conclure que « la faible action ionisante observée dans ces expériences coïncide avec le maximum d'activité des diastases et peut être

considérée comme un effet secondaire de cette même activité ou d'une propriété de la substance vivante au cours du processus de la sécrétion diastasique; qu'il s'agit dans ce cas d'une propriété de la molécule, non des atomes, puisque l'action du sublimé ou de la chaleur suffit pour la faire disparaître ».

Ce qui est remarquable c'est que, si on expose à l'électroscope, non seulement le scutellum, mais aussi la graine et la jeune plantule, aucune action ionisante n'apparaît. M. PETRI (82) attribue cette particularité au fait que les sucs cellulaires obtenus par pression ou par trituration dans un mortier ne sont plus dans des conditions favorables pour révéler une irradiation éventuelle, car par suite du contact réciproque des divers constituants des tissus, les propriétés physico-chimiques du milieu étant modifiées, les diastases peuvent ne plus être en état d'exercer leur action. Il cite à l'appui de cette opinion le fait que les acides organiques ou les sels acides venant en contact de diastases actives seulement en milieu neutre ou alcalin détruisent leur activité, de même que les substances tanniques détruisent par leur présence l'action diastasique de l'amylase. Cette interprétation permet à M. PETRI de critiquer le mode opératoire que THOMAS et LANCIEN ont adopté au cours de leurs recherches sur l'action ionisante des sucs des plantes ⁽¹⁾ et par cela même d'expliquer leur échec.

Soulignons encore ⁽²⁾ que dans les expériences de M. PETRI les cendres des graines utilisées au cours des essais précédents n'ont manifesté aucune activité. Cette observation permet à l'auteur de conclure que l'action ionisante observée par lui ne peut pas être attribuée à la présence dans les graines des éléments actifs qu'elles contiennent, que par conséquent elle n'a rien à voir avec la radioactivité ordinaire, mais qu'elle doit être la manifestation d'une propriété particulière de la matière vivante.

En résumé, de tout cet ensemble de travaux que nous venons d'analyser se dégage nettement l'impression que l'existence de la Bioradioactivité n'a été nullement démontrée. A ce sujet, il nous paraît bon de signaler l'opinion émise en 1922, avant la

(1) Voir page 39.

(2) Voir page 20.

publication des travaux de NOBON, par M. L. PETRI pour expliquer les résultats contradictoires enregistrés à cette époque (82).

Selon lui, les résultats sont négatifs ou positifs suivant que les expérimentateurs ont opéré sur des végétaux provenant de terrains privés d'éléments radioactifs ou riches en ces éléments. L'argument ne nous paraît pas convaincant, puisqu'il a été démontré que de façon très générale toutes les roches contiennent de petites quantités d'éléments actifs dans des proportions très sensiblement identiques (1) et qu'il en est de même pour les végétaux qui, s'ils ont la propriété de concentrer le radium, comme nous allons le voir, ne le font pas au-dessus d'une certaine limite, même lorsque le sol est enrichi en cet élément (60). En tout cas, les différences dans les teneurs en radioéléments chez les végétaux doivent se traduire par des différences d'activité si faibles qu'elles sont certainement insuffisantes pour que les appareils de détection utilisés à cette époque aient pu les déceler. D'après les essais que nous avons réalisés, nous croyons pouvoir dire que les tubes-compteurs d'électrons, qui sont à l'heure actuelle les appareils qui conviennent le mieux à ce genre de recherches, ne permettent pas de réaliser de telles distinctions sur les tissus vivants.

Il nous paraît logique de conclure que si la Bioradioactivité existe, le fait qu'elle ait échappé aux observations que nous venons de rapporter provient d'une insuffisance de moyens de détection.

(1) En moyenne de 0,79 à 3,46.10⁻¹² gr. de Ra par gr. de roche.

CHAPITRE II

DOSAGE DES ÉLÉMENTS RADIOACTIFS DANS LES ÊTRES VIVANTS

Il semble que THOMAS et LANCIEN les premiers ont eu l'idée d'aborder le problème de l'ionisation végétale par la méthode indirecte. Ils y ont été conduits à partir de l'hypothèse suivante : si les végétaux sont ionisants, ils doivent contenir en solution dans le suc cellulaire soit des sels radioactifs, soit de l'émanation pouvant provenir de l'eau, de l'air et du sol (57).

Remarquons en passant que cette hypothèse admet implicitement que la Bioradioactivité, si elle existe, doit son origine à la présence d'éléments actifs dans les tissus vivants.

THOMAS et LANCIEN font macérer pendant douze heures des *Pélargoniums* en quantité notable dans de l'eau à 30° dans l'espoir que, si ces végétaux contiennent de l'émanation et des sels actifs, ceux-ci entreront en solution. L'eau de macération est ensuite fractionnée en deux parties dont l'une est soumise à l'évaporation. Le résidu obtenu, examiné à trois reprises après 2 heures, 8 jours ou 3 semaines, ne s'est pas montré radioactif.

Les auteurs essaient en même temps de doser le radium dans l'autre fraction par la méthode de l'émanation. A cet effet, la solution est portée à l'ébullition dans un ballon à réfrigérant ascendant, les gaz extraits sont aspirés après dessiccation dans un cylindre déperditeur où leur activité est mesurée par la méthode du quartz piézo-électrique. Le résultat est encore absolument négatif.

Comme il est démontré aujourd'hui que d'une façon générale les plantes contiennent des traces de radium, on peut pen-

ser que cet insuccès tient à ce que les échantillons sur lesquels, à la fin de leurs essais, les auteurs ont tenté de mesurer l'activité sont insuffisamment riches en principes actifs. Même si la quantité de végétaux mis en expérience était suffisante, il est probable en effet que par une simple macération toutes les substances actives n'ont pas eu la possibilité d'entrer en solution, et par ailleurs les essais de mesure d'activité n'ont porté en définitive que sur la moitié des végétaux utilisés.

A la même époque en effet, ainsi que nous l'avons déjà dit, M. STOKLASA (94) réussissait à doser le radium en opérant sur la sève de certains végétaux. Son succès vient sans doute de ce qu'il opère sur la sève même, méthode que M. PETRI (82) trouve très rationnelle. Au mois de mars, pendant la période de floraison M. STOKLASA recueille donc ce liquide. Il y fait ensuite barboter de l'air qu'il reçoit, alors qu'il s'est chargé d'émanation pendant ce barbotage, dans un récipient relié à l'appareil de mesure. L'auteur s'est attaché de préférence, et c'est probablement là une autre cause de son succès à cette époque, à doser le radium chez les végétaux qui poussent en liberté dans des régions où le sol et les eaux sont fortement radioactifs, et aussi chez ceux qui se développent dans le cratère même du Vésuve où l'atmosphère gazeuse est particulièrement riche en émanation. M. STOKLASA croit pouvoir affirmer (97, 98) que le radium s'accumule sensiblement dans les cellules des végétaux proportionnellement à la radioactivité du sol, de l'eau ou de l'air respiré. Résumant l'ensemble de ses nombreuses recherches M. STOKLASA estime que la quantité de radium qu'on peut y trouver, rapportée à 1 gr. de cendres, varie de 2 à 8.10^{-12} gr. (97).

L'auteur a simultanément dosé le radium dans le suc cellulaire de quelques animaux vivant dans des lieux fortement radifères. Chez diverses espèces de *Limbricidae*, il trouve $5,2.10^{-12}$ gr. de Ra par litre et dans le suc cellulaire de petits poissons qui vivent dans les eaux radioactives de Joachimstal, Brambach, Zinnwald, il évalue la quantité de radium à $4,3.10^{-12}$ gr. par litre.

Comme M. STOKLASA, M. LANGWORTHY, en 1924, dose le radium en opérant lui aussi sur le suc cellulaire de la matière vivante. Il étudie en effet par les méthodes en usage au Bureau of Standards de Washington la radioactivité de la pulpe et du jus de tomates à l'état de maturité (58).

La mesure de l'activité étant effectuée sur un volume de 900 cm³, le dosage est renouvelé pendant 5 semaines à des intervalles réguliers de une semaine. M. LANGWORTHY trouve que cette activité est successivement égale à 3,28, 4,20, 0,98, 1,45 et 1,15 fois celle de l'eau de Washington.

BURKSER, BRONSTEIN et BRUN, au cours du travail dont nous avons déjà parlé (22), ont également réussi à doser les radio-éléments absorbés par certaines plantes des environs d'Odessa et de Berdjansk, en opérant non plus sur leur sève mais sur leurs cendres.

A cet effet les végétaux sont brûlés sur une plaque de fer; les cendres charbonneuses ainsi obtenues sont à nouveau incinérées jusqu'à disparition totale des éléments combustibles. Après fusion alcaline avec 50 gr de soude puis lessivage, le résidu insoluble est traité par de l'acide chlorhydrique. Ces trois opérations, fusion, lessivage, traitement acide sont renouvelées jusqu'à ce que tout passe en solution. Les deux liqueurs, alcaline et acide, ainsi obtenues sont alors mélangées dans un récipient de Curie en vue du dosage de l'émanation que les auteurs réalisent 30 jours après.

Dans ces conditions, il est trouvé que dans 1 gr. de cendres de plantes diverses (*Salsola*, *Helianthus annuus*, *Zea mays*, *Urtica divica*, *Artemisa*), la quantité de radium varie de 3,8 à 8,6.10⁻¹³ gr. En moyenne donc, ces résultats accusent une teneur en radium 10 fois plus faible que la teneur accusée par M. STOKLASA (1). M. STOKLASA attribue cet écart au fait que les auteurs ci-dessus « commettent la faute » de rechercher la radioactivité dans les cendres, et non, comme il le fait lui-même, dans la sève. Ne serait-ce pas plutôt parce que les essais de M. STOKLASA se sont exercés sur des végétaux récoltés sur des sols particulièrement riches en radium. MM. LEPAPE et TRANNOY ont en effet démontré de façon très précise que la teneur des cendres en radium augmente de façon sensible lorsque le sol s'enrichit en cet élément (60).

Dans la suite, BURKSER et BRONSTEIN en collaboration avec

(1) Une exception cependant pour *Vitis vinifera* pour laquelle il a été trouvé 5,11.10⁻¹² gr. de Radium.

SHAPIRO (23) ont effectué quelques mesures sur des substances alimentaires (pommes de terre, blé, pommes, viande de bœuf, perches de rivière, écrevisses, lait) en opérant sur des quantités de matière fraîche de l'ordre de 2 à 3 kg. Le traitement des cendres est conduit comme précédemment, mais les auteurs font porter la mesure de l'activité séparément sur les fractions acide et basique de la solution. Ils ont pu de la sorte se rendre compte, comme il fallait s'y attendre, que la solution basique ne manifeste aucune activité, celle-ci étant entièrement localisée dans la fraction acide. A l'exception des pommes de terre, où la présence du radium n'a pu être décelée, les substances alimentaires analysées contiennent des traces de ce radioélément, sensiblement dans les mêmes proportions que les végétaux étudiés précédemment, avec cette particularité toutefois que dans ces derniers essais les animaux sont notablement les plus riches.

La teneur en radium pour 1 gr. de cendres varie de 0,5 à $9,6 \cdot 10^{-13}$ gr.; rapportée à la matière fraîche, elle reste comprise entre 0,2 et $13,5 \cdot 10^{-15}$ gr. par gr. Dans le lait la concentration en radium est de $1,8 \cdot 10^{-15}$ gr. par cm^3 , c'est-à-dire du même ordre de grandeur que celle de l'Océan, qui varie de 1 à $14 \cdot 10^{-15}$ gr. par cm^3 .

Signalons encore le travail récent de BURKSER, BRONSTEIN en collaboration avec KONDOGOURI et MILGEWSKA (24) où les auteurs dosent le radium dans un grand nombre de végétaux et de substances alimentaires. Sans entrer dans le détail des résultats, disons que, dans la plupart des échantillons analysés, la teneur en radium est sensiblement la même que précédemment.

Dans une dernière partie de leur travail, les auteurs signalent qu'ils ont réussi à doser également le thorium. Dans leurs recherches initiales (22) en collaboration avec BRUN, MM. BURKSER et BRONSTEIN avaient déjà tenté cette recherche, mais à la limite de sensibilité de l'appareil de mesure ils n'avaient pas réussi à déceler la présence de cet élément dans 50 gr. de cendres.

Le dosage de thorium est effectué dans les solutions mêmes où a été dosé le radium, après que le radon en ait été chassé par le barbotage, à chaud, d'un courant d'air pendant 10 à 15 minutes. Ce courant d'air entraîne ensuite l'émanation du thorium dans la chambre d'ionisation à travers un réfrigérant et un appareil desséchant. Le courant d'ionisation maximum est mesuré au

boûf d'une demi-heure, à l'aide d'un électromètre très sensible construit par les auteurs eux-mêmes. La sensibilité de l'appareil est telle que, dans des conditions identiques, une solution de minerai de thorium contenant 1 mgr. de cet élément donne en une heure une déviation de 80 divisions environ de l'échelle de lecture.

La présence du thorium a été de la sorte décelée dans une dizaine de végétaux, dans le lait, dans les écrevisses. La teneur en thorium de tous les échantillons analysés varie de 0,4 à $3,6 \cdot 10^{-3}$ gr. p. 100 de cendres, ce qui correspond à une concentration de 10^{-5} gr. p. 100 de la matière fraîche, concentration qui est très sensiblement la même que celle de l'eau de mer d'après JOLY (en moyenne 10^{-5} gr. p. 100 cm³) (67).

La conclusion générale des travaux de BURKSER, BRONSTEIN et de leurs collaborateurs est que la teneur en radium, en thorium et aussi en rubidium qui a été accessoirement dosé dans quelques échantillons (1) est chez les êtres vivants du même ordre de grandeur que dans l'eau de mer.

Le dosage du radium dans les substances alimentaires d'origine végétale était simultanément poursuivi en France par NODON, en collaboration avec M. G. CUVIER (79, 80). Les premières recherches se sont exercées sur des vins de Bordeaux (blancs et rouges). Le mode opératoire n'est pas bien précisé; il est seulement dit que « les mesures ont été faites à l'électromètre Nodon ». D'après ces essais, ces vins présenteraient une certaine radioactivité, variable avec la nature du crû et avec les années des récoltes, et qui serait comprise pour les échantillons analysés entre le dixième et le centième de celle de l'uranium. Cette activité (de 0,006 à 0,030 microcurie) serait du même ordre de grandeur que celle de certaines eaux thermales, étudiées par NODON de 1903 à 1908, dans la région pyrénéenne. Le mémoire reproduit une série de graphiques qui montrent la variation avec les années de récolte de cette radioactivité, des quantités de sucre réducteur et d'extrait sec à 100°. La concordance entre ces variations est frappante. Au contraire, les teneurs pondérales en

(1) Voir page 17.

alcool varient en général en sens inverse des grandeurs précédentes. Ces variations d'activité sont surtout accusées pour les vins blancs de sorte que, selon la conclusion des auteurs, les rouges offriraient plus de constance au point de vue thérapeutique, car il serait utile, en vue de son emploi en médecine, de joindre aux différents caractères classiques d'un vin la valeur de sa radioactivité.

Récemment MM. CANALS et MÉDAILLE (29,30) ont entrepris des expériences analogues sur les vins du Roussillon du Minervois, de l'Aude, etc. Ici l'émanation est dosée selon la technique classique utilisée pour la mesure de la radioactivité des eaux minérales. Les activités ainsi déterminées sont comprises entre 0,02 et 0,25 millimicrocurie par litre de vin; elles sont donc environ 100 fois plus faibles que celle des vins étudiés par NODON et M. CUVIER.

M. CANALS et MÉDAILLE ont également mesuré les différentes constantes des échantillons de vins analysés (degré alcoolique, acidités, acide tartrique, extrait sec, cendres, alcalinité des cendres et sucre réducteur). Mais il ne leur a pas été possible d'établir les courbes que les auteurs précédents ont publiées sur les vins de Bordeaux.

Ils ont encore déterminé successivement la radioactivité des moûts avant leur fermentation, celle des vins « jeunes » qui en dérivent quelques jours après, enfin celle des vins « âgés » d'environ quatre à cinq mois. Il a été constaté que les vins âgés sont moins radioactifs que les vins jeunes et que les moûts correspondants, mais que les vins jeunes sont, fait assez curieux, plus actifs que les moûts. Cette particularité a suggéré aux auteurs l'idée de voir s'il n'y avait pas là l'indice d'une relation entre la radioactivité et la fermentation. Ayantensemencé le milieu de Raulin dans des conditions convenables avec *Saccharomyces ellipsoïdens*, ils constatent pourtant que les milieux fermentés, pas plus que les milieux témoins, n'ont aucune radioactivité. CANALS et MÉDAILLE ont alors songé à mesurer, en même temps que la radioactivité des moûts, la radioactivité de ce qu'ils appellent la pulpe (thyrses, épicarpe et pépins) dont il n'avait pas été tenu compte dans les essais précédents. Ils ont constaté que l'activité du vin jeune était précisément égale à l'activité totale du moût et de la pulpe.

A partir de 1930, paraissent les travaux de l'Ecole Russe (1) qui, sous la direction de M. W. VERNADSKY, entreprend de doser le radium dans les organismes de certains végétaux aquatiques. M. VERNADSKY en a résumé les directives et les premiers résultats dans une note à l'Académie des Sciences (105). Les dosages portent sur différentes espèces de *Lemna* qui fleurissent dans les étangs naturels de Péterhof et des environs de Kiew en Ukraine. A la limite de sensibilité des appareils de mesure (2.10^{-14} gr. p. 100 de Ra) il est observé que ces plantes absorbent le radium des eaux qu'elles habitent et le concentrent de façon remarquable. De l'ensemble des travaux publiés (19, 20) nous retiendrons, du point de vue qui nous intéresse ici, que le poids de radium dans les *Lemna* analysés varie, selon les espèces, de $0,1.10^{-12}$ à $1,3.10^{-11}$ gr. p. 100 de matière fraîche, tandis que l'eau des étangs contient au maximum 8.10^{-14} gr. p. 100 de radium. De ces résultats, M. VERNADSKY peut conclure que « les lentilles vivantes des *Lemna* concentrent donc le radium de 100 à 650 fois plus qu'il n'est concentré par l'eau » et que « cette concentration est du même ordre que celle depuis longtemps connue des éléments chimiques nécessaires à la vie tels que l'iode, le manganèse, le silicium, le phosphore ».

L'Ecole Russe s'est également intéressée à la présence du thorium dans les organismes vivants (106), à la suite des résultats annoncés par BURKSER, BRONSTEIN et leurs collaborateurs. La conclusion de ses travaux effectués sur les divers échantillons de *Lemna* récoltés précédemment en vue des dosages du radium dont nous venons de parler, est que la matière vivante ne peut contenir ni Th, ni son isotope Ra Th. Cette opinion est renforcée, selon M. VERNADSKY par le fait que l'existence du thorium dans les eaux naturelles n'est rien moins que douteuse.

A l'état vivant donc, les *Lemna* contiendraient à côté du radium son isotope Ms Th I, celui-ci en se désintégrant donnerait naissance à Ra Th, isotope du thorium, de telle sorte que le thoron décelé par la méthode de dosage de l'émanation par M. BURKSER et ses collaborateurs, serait dégagé en fait par Th X

(1) On en trouvera un résumé d'ensemble dans l'article de B.-P. UVAROV « Geochemistry of Living Matter » (*Nature*, 134, p. 11, 1934).

provenant du Ra Th et en équilibre avec lui au moment du dosage. En résumé, d'après M. VERNADSKY les *Lemna* contiendraient uniquement les isotopes du radium (Ra, Ms Th I et Th X), ce qui serait très probablement aussi le cas de la matière vivante en général.

Il nous reste enfin à rappeler le travail récent de MM. LEPAPE et TRANNOY (60, 61) qui ont eu l'occasion, au cours de leurs études sur l'influence du radium sur la végétation, de doser cet élément dans la partie aérienne de quelques céréales (blé, orge, maïs) et dans un certain nombre de plantes entières (navets, carottes, haricots, pavots, orties). Ce travail nous paraît être le plus complet de tous ceux qui ont été entrepris sur la recherche des éléments radioactifs chez les végétaux. Les dosages sont effectués sur la dissolution des cendres par la méthode mise en œuvre au Laboratoire de Chimie-Physique appliquée à l'Hydrologie du Collège de France pour la mesure de la radioactivité des eaux et des gaz naturels (43). Cette méthode mise au point de façon remarquable par M. LEPAPE et ses collaborateurs donne toute garantie, nous semble-t-il, quant à la valeur expérimentale des résultats que nous allons analyser rapidement.

Les végétaux examinés, récoltés sur des sols naturels, contiennent tous du radium. Rapportée aux cendres blanches, la teneur en radium varie peu : elle est très sensiblement d'environ $10 \cdot 10^{-12}$ gr. par gr., tandis que si on la rapporte à la matière sèche ou vivante elle subit des écarts appréciables. Par exemple, pour les végétaux à l'état sec, cette teneur varie de $4,1 \cdot 10^{-12}$ à $3,3 \cdot 10^{-14}$ grammes par gramme.

Rappelons que les végétaux analysés contiennent une quantité de radium plus grande que la terre du sol qui les a portés. Les plantes terrestres paraissent donc concentrer aussi le radium, mais cette concentration est beaucoup moins accusée que pour les plantes aquatiques étudiées par M. VERNADSKY. En effet, le rapport $\frac{\text{Ra par gr. de cendres blanches}}{\text{Ra par gr. de terre fine du sol}}$ s'exprime par des nombres qui restent compris entre 1,1 et 17,4.

Lorsqu'on enrichit le sol en radium, il a été constaté, nous l'avons déjà signalé, que la teneur des cendres en cet élément augmente nettement, mais il n'y a nullement proportionnalité,

et le rapport $\frac{\text{Ra cendres}}{\text{Ra terre}}$ s'abaisse en général lorsque la teneur en radium dans le sol s'élève.

MM. LEPAPE et TRANNOY se sont également préoccupés de déterminer la répartition du radium entre les différentes parties d'une même plante. De leurs essais, effectués sur des cultures de maïs dans des sols naturels aussi bien que dans des sols enrichis artificiellement en radium, il résulte que les feuilles sont plus riches que les tiges, qui sont elles-mêmes plus riches que les fruits.

En résumé, de l'ensemble de ces différents travaux nous pouvons conclure que, d'une façon générale, tous les végétaux contiennent du radium. Leur teneur en cet élément est sensiblement de l'ordre de grandeur de celle du sol ou de l'eau dans lesquels ils se développent, avec cette particularité toutefois que les végétaux terrestres ou aquatiques ont une tendance à concentrer cet élément. Dans une certaine mesure d'ailleurs, à partir d'une teneur limite, cette concentration relative diminue quand les milieux de culture s'enrichissent en radium.

Pour les végétaux qui poussent dans des sols naturels, la teneur en radium rapportée à la matière à l'état frais ou à l'état sec est susceptible de variations importantes, alors qu'elle s'exprime en fonction des cendres blanches par des nombres très voisins de 10^{-12} gr. par gramme.

Par ailleurs, il existe à l'heure actuelle peu de travaux concernant les animaux. Mais du petit nombre des résultats publiés, il semble qu'on puisse déduire qu'ils contiennent eux aussi des traces de radium, et cette déduction est d'autant plus logique qu'ils utilisent pour leur nourriture des plantes qui elles en renferment de façon certaine. Peut-être même si l'on en juge par les indications de BURKSER, BRONSTEIN et SHAPIRO (23), les animaux vertébrés sont-ils plus riches que les végétaux, le radium étant probablement concentré dans le squelette.

En même temps que le radium, d'autres éléments fortement radioactifs sont-ils absorbés par les végétaux et par conséquent aussi par les animaux? Nous avons vu que la question n'a été abordée que pour le thorium (24) et que d'ailleurs son existence n'est rien moins que problématique à la suite des travaux de

M. VERNADSKY et de ses élèves. Y aurait-il davantage place pour Ms Th I? Il nous paraît prudent d'attendre de nouvelles expériences pour conclure.

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES PERSONNELLES

Comme nous l'avons déjà signalé, dans une première partie de notre travail, nous nous sommes intéressé à la détection du rayonnement des cendres des végétaux et de leur matière sèche, en utilisant dans ce but un électromètre monofilaire.

Ensuite, dans l'intention de poursuivre nos recherches dans un domaine de sensibilité plus grande que celle de l'électromètre, nous avons adopté en tant que moyen de détection la méthode de numération directe des particules ionisantes au tube-compteur. Cela nous a permis, dans une seconde partie de notre étude, de confirmer sans nous y attarder outre mesure l'essentiel des résultats déduits de l'observation à l'électromètre, de montrer que les cendres insolubles des végétaux dans lesquelles se trouvent concentrés les éléments lourds radioactifs rayonnent faiblement, enfin de tenter quelques essais sur la matière vivante elle-même.

Dans ce qui suit, nous allons exposer les détails expérimentaux et les résultats de nos recherches dans l'ordre où ces recherches ont été poursuivies.

CHAPITRE I

RECHERCHES EFFECTUÉES A L'ÉLECTROMÈTRE

A. — *DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL*

Choix de l'appareil de détection.

La façon même dont nous avons conçu l'étude du phénomène qui nous occupe nous imposait le choix de la méthode de travail à adopter. Il s'agit en effet avant toutes choses de pouvoir déceler la faible activité du potassium, et cela en tenant compte du fait qu'il se trouve en petites quantités dans les tissus vivants.

La recherche de l'activité du potassium présente déjà de grandes difficultés, lorsqu'elle s'adresse à des quantités notables de matière. Dans le cas présent où nous sommes dans l'obligation d'expérimenter sur des quantités faibles de l'élément actif, nous nous trouvons à la limite de sensibilité de la plupart des instruments de détection.

La méthode classique idéale dans les recherches relatives à l'activité du potassium, lorsque nous avons abordé le présent travail, était encore la méthode électrométrique. L'emploi de la plaque photographique, en dehors des incertitudes qui s'imposent lorsqu'on veut interpréter les résultats auxquels il conduit (52), était d'autant moins indiqué que dans nos essais, qui dans notre esprit à cette époque devaient s'adresser surtout aux tissus vivants, les effets du rayonnement mitogénétique étaient susceptibles de se superposer à ceux que nous nous proposons de déceler. Les radiations de GURWITSCH sont en effet à la limite du domaine des radiations ultraviolettes qui agissent sur les

plaques photographiques ordinaires; certains auteurs ont d'ailleurs mis à profit cette propriété pour les détecter (44).

Le principe de l'emploi de la méthode électrométrique étant admis, il restait à choisir, parmi les différents modèles d'électromètres, celui qui devait le mieux s'adapter à nos recherches. Avant d'en faire l'acquisition nous avons tenté de réaliser, tout à fait au début de notre étude, quelques essais préliminaires avec un électromètre Szilard (99), qui se trouvait dans la collection de physique du laboratoire. Cet appareil d'une faible capacité (environ 2 cm.) est d'une sensibilité à la charge déjà grande puisqu'il permet d'apprécier un courant d'ionisation de 10^{-13} ampères.

Les essais qui ont porté sur des quantités importantes de sels de potassium en couche très épaisse se sont révélés absolument négatifs. Cela tient très certainement au fait que les sels étaient répartis sur une trop petite surface; en effet M. HENRIOT ⁽¹⁾ a montré que le courant de saturation du sulfate de potassium est précisément de l'ordre de 10^{-13} ampères, lorsque le sel est étalé sur une surface environ 20 fois plus grande, car l'intensité du courant d'ionisation est proportionnelle à la surface d'étalement du sel.

M. HENRIOT, utilisant un électromètre incliné du type Wilson, était dans l'obligation, pour obtenir des courants d'ionisation sensibles électrométriquement, de répartir le sulfate de potassium utilisé sur une surface d'environ 1.000 cm², au fond d'une grande chambre d'ionisation reliée à l'électromètre, et par conséquent de faire intervenir des quantités appréciables de sel, au minimum 35 gr. environ ce qui correspond sensiblement à 16 gr. d'élément potassium.

De même, en 1922, M. L. PETRI, au cours de ses études sur l'action ionisante des diastases (83) utilise un microélectroscope de ce type et réussit à apprécier le courant de saturation produit par 20 gr. de ce même sel, réparti sur une surface de 65 cm² seulement. Il y a là évidemment un progrès très sensible, mais nous sommes encore très loin de la sensibilité que nous étions dans l'obligation d'exiger. D'ailleurs M. PETRI lui-même précise

(1) Au cours du seul travail expérimental effectué en France sur la radioactivité des métaux alcalins.

que les cendres des graines qu'il utilisait dans ses expériences se sont montrées tout à fait inactives (1), alors que nous nous proposons précisément de déceler l'activité de cendres. L'emploi de l'électromètre Wilson n'était donc pas à envisager.

On pouvait penser aussi à un électromètre à quadrants. Mac LENNAN et KENNEDY (59) dans leurs études sur la radioactivité des métaux alcalins ont en effet adopté cet appareil associé à une grande chambre d'ionisation. La plus petite surface utilisée avec le sulfate de potassium en couche épaisse de saturation est déjà grande (90 cm²) ; en couche mince, au minimum 0,188 mm. d'épaisseur, la surface d'étalement du sel est de 228 cm². Bien que la quantité de sel mise en œuvre dans ces cas extrêmes ne soit pas précisée, il est hors de doute qu'elle devait être notable.

D'ailleurs THOMAS et LANCIEN, au cours de leur travail sur l'ionisation produite par les êtres vivants (56), utilisaient encore un tel électromètre équipé avec un quartz piézo-électrique, et nous savons qu'ils ont totalement échoué dans leur tentative.

Il existe cependant un électromètre de cette catégorie d'une sensibilité remarquable : c'est l'électromètre à binants, dans le vide, de M. HOFFMANN. Cet appareil, que l'auteur lui-même (53) estime d'une sensibilité 20 fois plus grande que celle de tous les électromètres connus, lui a permis de déceler l'activité de très petites quantités de potassium puisqu'il lui suffisait de couches minces de sels, de 1 à 7 mgr./cm², répartis sur une surface de 250 cm².

Mais l'électromètre de Hoffmann présente du point de vue pratique un certain nombre d'inconvénients : en particulier son prix est assez élevé, et cette considération n'est pas sans importance lorsqu'il s'agit d'en faire l'acquisition dans un laboratoire non spécialisé pour ce genre de recherches. Mais surtout son emploi est particulièrement délicat. Avant d'en faire l'achat, il était naturel de se demander s'il n'était pas possible, même en sacrifiant un peu de la sensibilité, d'utiliser un appareil moins onéreux et d'une manipulation beaucoup plus simple. Dans cet ordre d'idées, deux sortes d'instruments restaient à notre disposition : l'électroscope ordinaire à feuille et les électromètres à fil.

(1) Voir page 36.

Avec un petit électroscope à feuille d'or, M. GUÉBEN en 1924 (46, 47) a réussi à déceler l'activité de 4 gr. 32 de sulfate de potassium (environ 2 gr. de potassium) réparti sur une surface de 144 cm². Ce résultat est certainement déjà très appréciable, mais, comme on le sait, NODON utilisait également un électroscope à feuille. Il paraissait alors plus intéressant, à la suite des critiques qu'ont suscitées ses expériences, d'en reprendre l'étude avec un appareil d'un autre type, dans l'espoir d'atteindre une sensibilité plus grande. Or cela semble précisément possible avec les électromètres à fil.

C'est en effet un électromètre Wulf bifilaire que Marie KUBAN, en 1928 (55), utilise pour la mesure du rayonnement des sels de potassium, mais elle ne paraît pas en avoir fait usage dans les conditions optima de sensibilité, puisqu'elle réalise ses mesures d'absorption par l'aluminium sur des couches de saturation de 2,5 mm. d'épaisseur réparties sur un disque de 14 cm de diamètre.

Un résultat plus satisfaisant au point de vue de la sensibilité a été obtenu, en 1930, par A. MICKWITZ (70) qui avec un électromètre à fil construit par lui-même réussit à déceler la faible activité de la fraction soluble qu'il extrait après traitement chimique de certaines boues minérales sulfureuses d'Esthonie (radioactivité équivalente à celle de 0 gr. 63 de potassium).

D'ailleurs, à l'avantage de posséder une grande sensibilité à la charge, les électromètres à fil associent celui de pouvoir faire varier cette sensibilité, en même temps que de réduire dans des proportions importantes leur mouvement propre dû à l'influence inévitable de l'ionisation spontanée de l'air qui, ainsi que nous allons le voir, est un facteur extrêmement gênant lorsqu'on fait des mesures d'activités faibles (1).

C'est donc un électromètre de cette catégorie que Mme P. CURIE nous a conseillé d'étudier.

Nous avons eu la possibilité d'effectuer dans ses laboratoires quelques mesures avec des électromètres Wulf, monofilaire et

(1) Au sujet du phénomène de l'ionisation spontanée de l'air en vase clos, on consultera avec intérêt l'article de A.-B. CHAUVÉAU dans le Radium (31) et celui de M. LOISEL dans le Traité d'Electricité Atmosphérique et Tellurique publié par la 6^e section du Comité Français de Géodésie et de Géophysique (67).

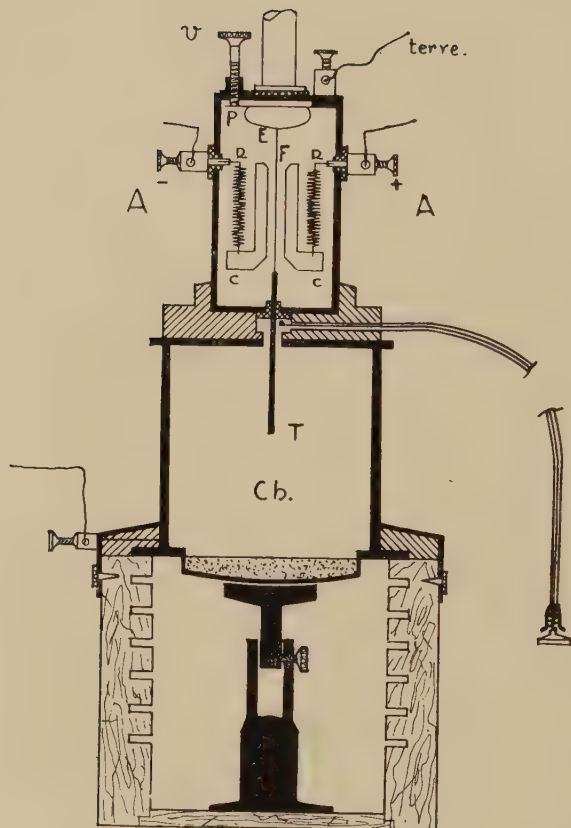


Fig. 1.

L'Électromètre POHL et sa chambre d'ionisation Ch.

F : fil mobile à la Wollaston ; *E* : ressort élastique en quartz en forme d'étrier (Système Wulf) ; *P* : porte boucle ; *v* : vis de réglage ; *C* : couteaux polaires ; *A* : bornes de courant à potentiels symétriques ; *R* : résistances de protection ; *T* : tige collectrice des ions.

bifilaire. Mais il ne nous a pas été donné de déceler l'activité de petites quantités de sels de potassium. Cet insuccès ne paraît pas devoir être attribué à un manque de sensibilité des appareils de mesure utilisés. La raison doit en être très certainement recherchée dans le fait que, par suite des contaminations radioactives contre lesquelles nous n'avons pas pu nous protéger malgré toutes les précautions d'isolement prises, l'ionisation spontanée de l'air se trouvait être trop intense. Marie KUBAN qui, nous venons de le rappeler, a pu effectuer des mesures sur le rayonnement des sels de potassium avec un Wulf bifilaire précise elle-même qu'elle a dû se mettre à l'abri de cette cause essentielle d'insuccès.

Fort heureusement, nous avons pu recommencer nos essais dans le sous-sol non contaminé d'un immeuble assez éloigné de l'Institut du Radium avec un électromètre Pohl monofilaire, avant que celui-ci ne pénétre dans les locaux de l'Institut. Dans ces conditions, nous nous sommes rendu compte qu'un tel appareil préservé de la contamination par le radium pouvait convenir à notre genre de recherches, alors que, même avec un Pohl déjà en service au Laboratoire Curie, nous n'avions obtenu aucun résultat décisif.

D'ailleurs le choix d'un électromètre Pohl nous a paru d'autant plus intéressant qu'à notre connaissance il n'en a jamais été fait usage dans l'étude systématique du rayonnement des métaux alcalins. A peine nous a-t-il été donné de relever dans la littérature que Mme CURIE-JOLIOU et M. F. JOLIOU l'ont utilisé incidemment au cours d'un travail effectué en 1933 à la station scientifique du Jungfraujoch, dans l'intention de voir si l'activité d'un échantillon de chlorure de potassium rapportée à celle d'un étalon de radium était influencée par le rayonnement cosmique (34).

Il n'était donc pas sans intérêt d'en rechercher les conditions d'utilisation pour la détection de petites quantités de potassium.

L'électromètre Pohl.

Le principe de cet appareil ne diffère pas dans l'ensemble de l'électromètre monofilaire de M. WULF.

Nous ne croyons pas nécessaire d'en faire une description détaillée et d'en examiner la théorie puisqu'il existe sur les électromètres à fil un ouvrage récent et remarquablement documenté de M. WULF lui-même (109). Il nous paraît suffisant de mettre en évidence ici ses caractéristiques essentielles.

L'organe mobile est un fil à la Wollaston F de quelques microns de diamètre (fig. 1). A l'une de ses extrémités, ce fil est rattaché à la tige de déperdition T qui pénètre à travers un bouchon isolant dans la chambre d'ionisation Ch . A l'autre extrémité, il est solidaire d'un ressort élastique très fin, en forme d'étrier E . Ce dispositif très ingénieux, fait d'un fil de quartz, a été imaginé en 1905 par M. WULF, qui lui attribue des propriétés idéales en ce sens qu'il est un excellent isolant et que, en tant que ressort, il ne manifeste aucune déformation permanente (108).

L'étrier en quartz est fixé sur un porte-boucle P que l'on peut déplacer à volonté grâce à la vis v ; il est de la sorte possible de modifier d'une façon lente et très uniforme la tension mécanique du fil. Le filament F est tendu parallèlement aux arêtes verticales de deux couteaux polaires C , auxquels on applique des potentiels égaux et de signes contraires par l'intermédiaire de deux bornes A . Ce dispositif permet de créer un champ électrostatique nettement défini dans lequel le fil F va pouvoir se déplacer, les couteaux polaires C jouant par rapport à lui le même rôle que les quadrants d'un électromètre à quadrants par rapport à son aiguille.

La chambre d'ionisation est également portée à un potentiel électrique convenable, tandis que la cage de l'électromètre est à la terre.

Entre chaque mesure, le filament F est mis au sol par le contact de la tige support T avec une petite lamelle commandée à distance par un flexible, à la manière des déclencheurs des appareils photographiques. Au moment d'une mesure, le fil est isolé, il se dirige alors vers l'une ou l'autre arête suivant le signe des charges qu'il reçoit. On observe son déplacement à l'aide d'un microscope à micromètre oculaire, qui par une commande à pignon permet d'amener l'image du fil en face de la division cnoisie sur la graduation.

On peut modifier la sensibilité de l'électromètre, dans d'assez

larges limites, en faisant varier la tension électrostatique appliquée aux couteaux polaires C et la tension mécanique du fil F .

Dans la pratique, on porte les couteaux polaires au potentiel le plus favorable, puis on réalise la sensibilité désirée en manœuvrant la vis v , étant entendu que l'appareil est d'autant plus sensible que le fil est plus lâche. Au cours de ces opérations de réglage, il peut arriver que le filament vienne en contact de l'un des couteaux polaires chargés; à cet effet deux résistances de protection R ont été prévues qui, lorsque cela se produit, évitent la destruction du fil.

La capacité de l'électromètre utilisé est de 2 cm. 4, sa sensibilité aux volts est en moyenne, par division de l'échelle du micromètre, de 0,1 volt lorsque les couteaux polaires sont portés au potentiel ± 60 volts (sensibilité maximum 0,02 volts, sensibilité minimum 2 volts).

Conditions d'utilisation.

L'électromètre a été disposé dans la salle de physique du Laboratoire de Chimie Biologique, située dans le sous-sol de l'Institut PASTEUR. Nous nous sommes rendu compte que la température y était aussi constante que possible; à peine avons-nous enregistré quelques variations dans la sensibilité de l'appareil de mesure lorsque, par suite des fluctuations saisonnières de la température se produisaient de légères variations de la tension mécanique du fil. Comme il n'a jamais été manipulé de radium dans cette pièce, aucune contamination radioactive n'était à craindre, et de fait l'ionisation spontanée de l'air s'y est révélée très normale.

La figure 2 représente le montage de l'électromètre. Nous avons adopté les tensions électrostatiques suivantes :

- 1°) ± 90 volts aux couteaux polaires,
- 2°) $+ 160$ volts à la chambre d'ionisation.

La chambre d'ionisation dans laquelle pénètre la tige collectrice des ions a été maintenue fermée pendant toute la durée des expériences. Son ouverture circulaire (diamètre 8,4 cm.) a été obturée par une mince feuille de cellophane de 0,02 mm. environ d'épaisseur, très faiblement absorbante.

Nous nous sommes imposé en effet, de ne jamais introduire la moindre substance active à l'intérieur de la chambre, et ceci pour plusieurs raisons.

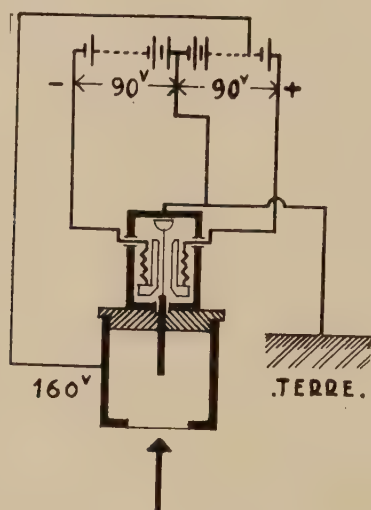


Fig. 2

Tout d'abord et essentiellement, nous avons tenu à éviter de la sorte toute influence de l'humidité, puisque c'est à cette influence que l'on attribue, ainsi que nous l'avons souligné, le succès des expériences de TOMMASINA et de NODON. Or si cette critique peut s'exercer lorsqu'il s'agit de végétaux à l'état frais, il est non moins certain qu'elle reste légitime vis-à-vis des tissus à l'état sec ou de leurs cendres qui sont très fortement hygroscopiques. Evidemment, on pourrait penser à prendre les précautions habituelles de dessiccation en maintenant invariable l'état d'humidité à l'intérieur de la chambre d'ionisation. Mais il eut été peu aisé d'introduire dans de bonnes conditions une substance desséchante dans la chambre d'ionisation qui accompagne l'électromètre Pohl.

De plus, il faut éviter la possibilité d'échanges gazeux entre végétaux ou animaux et l'atmosphère de la chambre, qui en modifiant la nature de cette atmosphère font varier son état d'ionisation.

En éliminant ces échanges on se met également à l'abri d'un dégagement possible de gaz radioactifs. On se rappelle en effet que ERNEST et ZACEK d'une part (1), BURKSER, BRUN et BRONSTEIN d'autre part (2), au cours de leurs études sur l'ionisation des végétaux étaient très probablement victimes d'un tel dégagement. Si cette considération n'entre pas en jeu dans le cas des sels de potassium dont on n'a pu jusqu'à présent manifester l'émission de gaz radioactifs, elle garde toute sa valeur, non seulement pour les végétaux fraîchement cueillis, mais aussi pour les cendres qui, nous le savons, contiennent des petites quantités de radium. Aussi, au cours des mesures qui sont d'assez longue durée, il est craindre que des traces d'émanation se dégagent.

D'autre part l'introduction des cendres dans la chambre d'ionisation risque de souiller les parois et la tige collectrice des ions par suite de la projection de fines poussières très faiblement actives, car cette projection paraît inévitable malgré toutes les précautions prises pour mettre les cendres en masse compacte.

Cette double éventualité, en dehors des erreurs expérimentales qu'elle entraîne, nous mettrait dans l'obligation de nettoyer les parois de la chambre d'ionisation après chaque mesure. Or il va sans dire qu'il n'est pas négligeable de pouvoir éviter une telle perte de temps, surtout lorsqu'il s'agit de réaliser un très grand nombre de mesures qui par elles-mêmes sont déjà fort longues.

Il nous a semblé qu'il y avait également intérêt à ne pas modifier, entre les expériences témoins sans substance active et les mesures effectives d'activité, la nature des parois de la chambre, et cela pour que ne varie pas d'un essai à l'autre l'ionisation spontanée de cet espace clos. M. HENRIOT a eu l'occasion d'observer, par exemple, que le fait de couvrir le fond d'une chambre d'ionisation en laiton par une feuille d'étain modifiait de façon sensible la conductibilité propre du dispositif de mesure (52).

Enfin le renouvellement inévitable de l'air dans la chambre au moment de son ouverture pour introduire ou retirer les substances d'étude entraîne lui aussi une perturbation dans l'ionisation spontanée de l'appareil. Il en résulte une gêne certaine du

(1) Voir page 30.

(2) Voir page 34.

double point de vue de la durée des mesures et de leur précision, sur laquelle MM. HENRIOT et GUÉBEN ont successivement attiré l'attention (52, 46). Pour s'en libérer ces auteurs se sont précisément vus dans l'obligation, au cours de leurs essais, de réaliser la fermeture de la chambre d'ionisation à l'aide d'une feuille mince d'étain. C'est ce que nous avons cru devoir faire, dès le début de notre étude, avec un écran de cellophane; il nous a paru en effet que les variations de l'ionisation spontanée pour des causes mal connues contre lesquelles, nous allons le voir, il n'a pas été possible jusqu'à présent de se protéger entièrement rendent déjà les mesures des faibles activités suffisamment délicates pour que toutes les complications d'un autre ordre soient évitées.

Le fait d'opérer avec une chambre d'ionisation toujours close, dans une atmosphère gazeuse aussi identique à elle-même que possible, nous donne donc toute garantie alors que nous nous proposons de voir s'il est possible de détecter le rayonnement du potassium dans celui qu'émettent les tissus végétaux et leurs cendres, puisque la méthode d'analyse porte uniquement sur l'identité d'une émission de particules β . Mais nous nous interdisons alors de déceler une ionisation plus faiblement pénétrante de nature α par exemple, car si l'écran de cellophane a un pouvoir d'absorption négligeable vis-à-vis du rayonnement β du potassium, il absorbe par contre des rayons du type α , ainsi que nous l'avons observé par des essais sur l'uranium.

Si donc à côté du rayonnement du potassium il se produit une émission de particules peu pénétrantes, nous ne le saurons pas. Certes il eut été intéressant de le rechercher; mais le présent travail n'ayant pas l'ambition de résoudre le problème de la Bioradioactivité sous tous ses aspects, il nous a paru sage d'exercer nos recherches dans les limites que nous avons précisées, en nous efforçant d'apporter dans ce domaine bien défini des résultats rigoureux et si possible hors d'atteinte de toute critique.

Malgré les précautions prises pour ne pas modifier par nous-même l'état d'ionisation dans la chambre nous avons enregistré comme bien d'autres chercheurs avant nous des fluctuations souvent importantes dans le mouvement propre de l'électromètre.

Certes, dans les conditions de sensibilité réalisées ici, les variations de ce mouvement propre se trouvent réduites au mini-

muni au cours d'une même série de mesures et nous nous sommes efforcé d'en éliminer l'influence, dans la mesure du possible, en déterminant par la méthode habituelle le mouvement propre de l'appareil avant et après chacun des essais.

Mais ces variations se manifestent de façon incohérente dans l'intervalle de plusieurs séries de mesures échelonnées sur quelques jours. Nous avons cherché, mais en vain, à en pénétrer la cause au cours des nombreux essais que nous avons effectués. C'est ainsi que nous avons suivi, en même temps que l'évolution de la température du laboratoire, les fluctuations de la pression atmosphérique qui devaient se faire sentir dans l'air confiné de la chambre d'ionisation à travers la mince paroi de cellophane. Il n'est apparu aucune relation entre ces deux phénomènes. Pas davantage les variations de l'état hygrométrique de l'atmosphère que nous avons enregistrées ne peuvent expliquer celles de l'ionisation résiduelle. Tout au plus, croyons-nous avoir reconnu, sans d'ailleurs la préciser davantage, une influence des chutes de pluie que certains auteurs ont également discernée (52).

Avec les électromètres à fil, et c'est là un avantage tout à fait remarquable, il est possible dans une pièce non contaminée de régler dans une certaine mesure leur mouvement propre en faisant varier convenablement la tension mécanique du fil.

Au début de nos recherches, nous avons cherché par tâtonnement à rendre ce mouvement propre aussi lent que possible, puisque c'était à cette condition essentielle que les faibles activités que nous nous proposons de déceler avaient des chances de se manifester. On comprend aisément que la fuite spontanée de l'appareil de mesure est un effet parasite gênant qui risque, s'il est trop intense, de masquer le phénomène à détecter : comme nous allons le voir, elle introduit dans le calcul de l'activité un terme correctif non négligeable. Ainsi que le remarque très judicieusement M. HENRIOT (52), on se trouve ici « dans la situation d'un physicien qui voudrait étudier les propriétés diamagnétiques des corps avec les appareils souillés de fer métallique ».

Dans les conditions où nous avons opéré, la tension mécanique du fil est assez élevée, de telle sorte que nous ne sommes pas tout à fait dans le domaine des sensibilités maxima de l'électromètre. Quoiqu'on en puisse penser à priori, cela n'est aucunement gênant, bien au contraire.

Il serait faux de croire en effet que, si la sensibilité est exagérément grande, la moindre action ionisante sera susceptible de se manifester, car alors, automatiquement, le courant dû à l'ionisation résiduelle de l'air se trouve amplifié et son influence devenant prépondérante empêche la détection du faible courant à mesurer qui est produit par une cause ionisante extérieure demeurée invariable.

D'ailleurs en augmentant la tension mécanique du fil on atténue en même temps de façon sensible l'importante des fluctuations éventuelles de son mouvement propre. Aussi nous a-t-il été possible de mener à bien nos recherches sans recourir à l'emploi assez répandu d'une tunique de plomb entourant l'appareil de mesure.

En résumé, on se trouve pratiquement dans l'obligation de choisir une tension du fil telle que, en laissant à l'électromètre une sensibilité suffisante on diminue, en le freinant, son mouvement propre. La difficulté expérimentale est précisément de réaliser cette condition moyenne. Nous croyons y être parvenu de façon très satisfaisante puisque, dans le domaine des très faibles activités que nous avons réussi à mesurer, une même action ionisante se traduit par des valeurs numériques qui, au degré de précision des mesures, concordent très bien entre elles.

Mode opératoire.

La matière sèche, après dessiccation totale à $+ 120^{\circ}$, est réduite en poudre fine impalpable par plusieurs broyages dans un moulin ordinaire, suivis d'une pulvérisation au moulin turec.

Pour l'obtention des cendres, la combustion est effectuée sur cette poudre dans une capsule en silice fondue. Cette précaution permet de réaliser des cendres elles-mêmes impalpables dans des conditions telles que, à température modérée, le charbon se consume rapidement sans qu'on puisse craindre la volatilisation des sels alcalins. Les cendres qu'on obtient ainsi sans difficulté en un temps très court sont très légèrement grises, à peine teintées par des traces de carbone non consommé.

Ces poudres fines, matière sèche ou cendres, sont fortement comprimées en couches d'épaisseur très uniforme dans une capsule en carton dont le fond circulaire est constitué par une mince

feuille de cellophane de même épaisseur que l'écran obturateur de la chambre d'ionisation.

Dans nos premiers essais, cette chambre se trouvait au-dessus de l'électromètre et le récipient contenant la substance active reposait directement sur le disque en cellophane qui ferme son ouverture. Le rayonnement est alors absorbé par une double épaisseur de cellophane (0,04 mm.). Ce dispositif nous a permis de réaliser avec une même capsule, dans des conditions rigoureusement semblables, différents essais sur le rayonnement des cendres.

Dans la suite, pour l'étude de la matière sèche et pour que le très faible rayonnement qu'elle émet ne traverse qu'une seule lamelle d'écran, l'appareil de mesure a été disposé comme l'indique la figure 1, la chambre d'ionisation étant au-dessous de l'électromètre. Il est alors indispensable que la surface libre de la substance active, comprimée en couche épaisse, soit en contact direct avec l'écran obturateur sans interposition de lame d'air ; ce contact est rendu possible par un dispositif à crémaillère (fig. 1).

La pesée de la substance ionisante est faite, par la méthode de la double pesée, dans le récipient même où elle a été comprimée. Bien entendu, entre les mesures, cette substance assez fortement hygroscopique (matière sèche, cendres) est placée dans un dessiccateur à acide sulfurique.

Dès que la tension électrostatique vient d'être appliquée à la chambre d'ionisation, l'expérience montre que le courant d'ionisation n'est pas rigoureusement défini. Comme le signalent en particulier M. HENRIOT (52) et M. GUÉBEN (46) ce courant assez intense au début diminue assez vite pour devenir pratiquement constant au bout de 15 minutes environ.

Pour tenir compte de ces faits, le fil, dès qu'il vient d'être isolé, se trouve un peu au delà du trait de repère choisi sur la graduation de telle sorte qu'une quinzaine de minutes s'écoulent avant qu'il passe devant lui. A l'instant de la coïncidence le chronomètre est déclanché; il sera mis dans la position d'arrêt lorsque le fil aura parcouru un certain nombre de divisions de la graduation.

Comme nous l'avons déjà dit, à vide, le mouvement du fil est très lent; la durée du parcours entre 2 divisions successives

est de l'ordre de 20 à 40 minutes. Il en résulte qu'il est assez difficile d'observer l'instant précis où l'image du fil coïncide avec le milieu de l'épaisseur du trait du micromètre. Il nous paraît que pour un observateur exercé l'erreur commise dans l'appréciation de chaque coïncidence est de l'ordre de $1/4$ de minute, de telle sorte que l'erreur totale sur la mesure du temps, qui résulte de 2 lectures, est d'environ $1/2$ minute.

Il eût été désirable pour diminuer l'erreur relative sur la mesure du temps à vide de laisser le fil se déplacer sur un grand nombre de divisions de l'échelle. C'est ce que nous avons fait au début de notre étude au cours d'un certain nombre d'essais préliminaires, dans l'intention de rechercher la sensibilité maximum à la charge ainsi que la fidélité de l'électromètre. Mais dans la suite, pour ne pas augmenter la durée totale des mesures au delà d'une limite raisonnable, nous avons décidé de réaliser la mesure du temps à vide sur une ou au plus sur deux divisions de la graduation.

En ce qui concerne les mesures en présence des substances actives pour lesquelles les déplacements du fil sont beaucoup plus rapides, il nous a été possible de déterminer le temps de parcours, en général, sur plus de 2 divisions de l'échelle de lecture.

La succession des opérations effectués au cours d'une mesure d'activité est alors la suivante : on détermine le temps de parcours du fil :

1° à vide

2° en présence de la substance active

3° de nouveau à vide.

Le mouvement propre de l'électromètre reste suffisamment constant pendant toute la durée d'une mesure pour que les temps lus au cours de la première et de la troisième détermination à vide soient très sensiblement identiques.

Désignons alors par t la moyenne des temps à vide pour n divisions et par t' la durée de parcours du fil calculée pour le même nombre n de divisions de l'échelle en présence de la substance active. Nous exprimerons les courants correspondants par les vitesses de déplacement du fil $\frac{n}{t}$ et $\frac{n}{t'}$, t et t' étant évalués en minutes et fraction de minute. Le courant d'ionisation dû à la substance étudiée se traduira donc, après correction pour tenir

compte du courant d'ionisation spontanée, par l'expression $\frac{n}{t} - \frac{n}{t'}$ qui représente l'accroissement que subit la vitesse à vide sous l'action de la cause ionisante que l'on mesure.

Pour fixer les idées, voici à titre d'exemple, les résultats d'une mesure effectuée sur des cendres de Tabac :

		Temps
1 ^o à vide	sur 1 division	35 ^m
2 ^o avec les cendres.....	sur 3 divisions	47 ^m 30 ^{sec}
3 ^o à vide	sur 1 division	35 ^m 30 ^{sec}
Temps moyen à vide 35 ^m 15 ^{sec} , c'est-à-dire en minutes		
et fraction de minute :		$t = 35^m 25$

Temps en présence de la substance active pour 1 division
 $\frac{47^m 5}{3}$ c'est-à-dire : $t' = 15^m 83$

$$\text{Vitesse corrigée } \frac{1}{t'} - \frac{1}{t} = \frac{1}{15,83} - \frac{1}{35,25} = 0,0348$$

Le calcul montre qu'une erreur de 1/2 minute sur t introduit dans la vitesse corrigée une erreur de $\pm 0,000.4$.

Admettons d'autre part que chaque lecture pour la mesure du temps en présence de la substance active est entachée d'une incertitude de 5 secondes environ; il en résulte une erreur sur ce temps, relatif à 3 divisions, de 10 secondes ou de 1/6 de minute, ce qui correspond à une erreur moyenne de 1/18 de minute pour le temps t' par division. L'erreur commise sur la mesure de la vitesse corrigée est alors de $\pm 0,000.2$ environ.

En résumé, l'erreur totale sur la vitesse de déplacement du fil, après correction pour tenir compte de son mouvement propre est de l'ordre $\pm 0,000.6$.

Nous appuyant sur cet exemple précis, nous admettrons que d'une façon générale les erreurs expérimentales qui résultent de la mesure des temps t et t' entraînent une incertitude sur la vitesse corrigée, par laquelle nous traduisons le courant d'ionisation, de quelques unités du 4^e ordre décimal — voire même dans les cas les plus défavorables d'une unité du 3^e ordre.

Recherche de la sensibilité à la charge.

Dans les préliminaires de notre étude poursuivie avec l'élec-

tromètre Pohl, nous nous sommes attaché à déterminer la plus petite quantité de potassium susceptible d'être décelée par cet instrument. Nous avons adopté comme agent d'ionisation un échantillon de perchlorate de potassium ClO_4K , forme sous laquelle nous avons précédemment extrait l'élément potassium d'un certain nombre de végétaux, en suivant la technique de dosage mise au point par M. G. BERTRAND (1). Cet échantillon nous donnait toute garantie quant à son origine et à son degré de pureté puisque nous l'avions isolé nous-même à la suite de plusieurs cristallisations dans une opération de dosage, selon un mode d'extraction rigoureusement contrôlé (2).

Avec cet échantillon de perchlorate nous avons effectué une longue série de mesures d'activité en appliquant la méthode expérimentale précédente à des quantités de sel de plus en plus réduites. Nous avons déjà précisé les conclusions auxquelles nous avons été conduit en ce qui concerne les tensions électrostatiques et la tension mécanique du fil. Dans le tableau qui suit, nous résumons les résultats obtenus avec 0 gr. 987 de perchlorate (environ 0 gr. 28 de potassium) réparti sur une surface de 20 cm^2 c'est-à-dire en couche d'épaisseur 0,05 gr./cm^2 .

Mesure effectuée sur :	Temps à vide	Temps en présence de ClO_4K	Écarts des temps	A vide pour 1 division t	Avec ClO_4K pour 1 division t'	Vitesse de chute corrigée $\frac{1}{t'} - \frac{1}{t}$
5 divisions	133 ^m 23 ^{sec}	88 ^m 5 ^{sec}	45 ^m 18 ^{sec}	26 ^m 68	17 ^m 6	0,0193
2 divisions	52 ^m 55 ^{sec}	34 ^m 20 ^{sec}	18 ^m 35 ^{sec}	26 ^m 92	17 ^m 33	0,0205

TABLEAU I

Comme on le voit, avec 0 gr. 28 de potassium les écarts des temps à vide et en présence du sel actif sont très appréciables,

(1) Voir page 86.

(2) Ici une remarque s'impose. On admet aujourd'hui que, parmi les deux isotopes du potassium de masses atomiques 39 et 41, seul l'isotope lourd $\text{K}41$ serait radioactif. Or selon M. VERNADSKY (104), les organismes vivants auraient la propriété de séparer dans les éléments qu'ils absorbent les isotopes qui sont spécialement nécessaires au fonctionnement de leurs organes. En ce qui concerne le potassium cette hypothèse attribue ce rôle prépondérant à l'isotope radioactif : les végétaux concentreraient donc de préfé-

même sur 2 divisions, et les nombres que l'on obtient pour la vitesse de chute corrigée sont bien concordants. Il est donc possible de faire une bonne mesure avec cette petite quantité de potassium.

La sensibilité de l'électromètre que nous utilisons étant ainsi précisée, il nous paraît intéressant de comparer ce résultat à ceux qui, nous l'avons vu, ont été obtenus précédemment avec d'autres électromètres et que nous rassemblons dans le tableau suivant :

Date	Auteur	Electro- mètre	Sel utilisé	Surface d'étalement du sel	Quantité minimum de potassium
1912	E. HENRIOT	Wilson	SO ⁴ K ²	1000 cm ²	16 gr.
1922	L. PETRI	Wilson	SO ⁴ K ²	65 cm ²	9 gr.
1924	G. GUÉBEN	à feuille d'or	SO ⁴ K ²	144 cm ²	2 gr.
1923	G. HOFFMANN	Hoffmann	KCl	250 cm ²	0 gr. 13 à 0 gr. 9
1930	A. MICKWITZ <i>Nous-même</i>	à fil <i>Pohl</i>	<i>CIO⁴ K</i>	314 cm ² 20 cm ²	0 gr. 63 0 gr. 28

TABLEAU II

Les écarts des temps à vide et en présence de 0 gr. 28 de potassium étaient si nets qu'il paraissait possible de faire encore mieux. Nous avons donc tenté de diminuer la quantité de perchlorate; au cours de ces essais, il nous a été possible de déceler l'activité de 0 gr. 45 de ce sel, soit 0 gr. 12 de potassium. C'est ainsi que dans une mesure nous avons obtenu les résultats suivants pour les temps de chute sur 3 divisions du micromètre :

A vide.....	50m 50sec
Avec 0 gr. 12 de potassium.....	44m 10sec

Mais les valeurs du courant d'ionisation corrigé que nous

rence cet isotope lourd et il en résulte que le potassium « d'origine végétale » doit être plus radioactif que le potassium minéral ordinaire. Précisons que dans nos essais à l'électromètre nous n'avons jamais observé aucune différence d'activité entre l'échantillon de perchlorate ci-dessus et une égale quantité (10 grammes) de perchlorate « pur Poulenc ». D'ailleurs cette constatation n'infirme en rien qu'une telle différence d'activité soit capable de se manifester vis-à-vis d'un dispositif de mesure plus sensible tel qu'un tube-compteur.

avons enregistrées au cours d'une série de mesures ne sont plus d'une concordance suffisante pour qu'il puisse être fait des essais rigoureusement quantitatifs sur une telle quantité d'élément actif, et cela s'explique, semble-t-il alors, par la difficulté d'étaler une aussi faible quantité de sel en couches d'épaisseurs identiques d'un essai à l'autre sur la surface de 20 cm² que nous utilisions.

Quant à étaler le sel sur une plus petite surface dans l'intention de réaliser plus aisément des couches d'épaisseur plus constante, il n'y faut pas songer. La loi de surface que nous avons observée (1) nous fait une nécessité de répandre la substance active sur la plus grande surface possible. Or cette surface de 20 cm² nous paraît être, dans cet ordre d'idées, un minimum avec l'appareil utilisé.

En somme, on se trouve dans l'obligation de satisfaire aux conditions suivantes qui se concilient difficilement : réaliser des couches d'épaisseur uniforme en étalant le moins de substance possible sur une surface aussi étendue que possible. On conçoit aisément la difficulté du problème; aussi, bien que du point de vue quantitatif nous ne l'ayons pas résolu avec cette quantité minimum de sel actif, nous avons jugé intéressant de donner cet exemple concret à titre d'indication.

Fidélité de l'électromètre.

Ces résultats étant acquis, nous avons abordé la recherche de l'activité des cendres végétales. Dès nos premiers essais sur moins de 2 gr. de cendres de feuilles de Vigne Vierge, il est apparu que ces cendres rayonnaient faiblement.

Avant de poursuivre des recherches systématiques sur la nature de ce rayonnement et sur son identification possible avec celui du potassium, nous avons tenu à nous rendre compte si, sur des échantillons aussi complexes que des cendres et en somme très peu radioactifs, une étude quantitative était possible.

Dans cet ordre d'idées, nous nous sommes demandé si les indications de l'électromètre restaient identiques à elles-mêmes au cours du temps; en d'autres termes, si l'on pouvait compter sur la fidélité de l'instrument de mesure.

(1) Voir page 82.

D'après une opinion assez répandue, que MM. CHÉNEVEAU et LABORDE ont précisée en 1909 (32), les résultats d'une mesure d'activité ne seraient en effet réellement probants qu'autant que la fuite spontanée de l'appareil n'excède pas le dixième environ de la vitesse de chute en présence de la substance active.

Or, dès les premiers essais sur les cendres, il se manifestait que cette condition limite était loin d'être satisfaite. La question se posait alors de savoir si les progrès réalisés dans la technique des mesures électrométriques permettaient d'espérer que les résultats obtenus avec des courants de fuite plus intenses que le dixième du courant d'ionisation mesuré soient suffisamment constants au degré de précision des mesures.

Effectivement un certain nombre de déterminations réalisées à quelques jours d'intervalle avec 1 gr. 55 de cendres de Vierge réparties sur une surface de 40 cm² environ, nous ont permis de confirmer entièrement cette prévision. On s'en rendra compte aisément en examinant le tableau suivant, où nous résumons les résultats des lectures des temps en présence des cendres et à vide sur 2 divisions de l'échelle :

Temps en présence des cendres t'	Moyenne des temps à vide t	Vitesse en présence des cendres $\frac{2}{t'}$	Vitesse à vide $\frac{2}{t}$	Vitesse à vide Vitesse avec cendres	Vitesse corrigée $\frac{2}{t'} - \frac{2}{t}$
38 ^m 33 ^{sec}	59 ^m 18 ^{sec}	0,0518	0,0336	0,648	0,0182
33 ^m 17 ^{sec}	47 ^m 17 ^{sec}	0,0600	0,04 2	0,703	0,0178
26 ^m 40 ^{sec}	34 ^m 56 ^{sec}	0,0749	0,0571	0,762	0,0178
26 ^m 12 ^{sec}	34 ^m 23 ^{sec}	0,0763	0,0581	0,761	0,0182
20 ^m	24 ^m 21 ^{sec}	0,1	0,0821	0,821	0,0179

TABLEAU III

Ainsi donc, bien que le rapport de la vitesse à vide à la vitesse en présence des cendres (5^e colonne du tableau) soit nettement supérieur à 1/10 et qu'il varie de 0,648 à 0,821, on voit que la vitesse corrigée par laquelle nous représentons l'intensité du courant d'ionisation reste remarquablement invariable.

Devant l'importance d'un tel résultat nous avons cherché à en faire la vérification. Un procédé classique de contrôle, tout

particulièrement en usage au laboratoire du Professeur Gabriel BERTRAND, s'imposait à notre attention; pour juger de la fidélité d'une méthode de dosage on ajoute au test en expérience une quantité connue de l'élément à doser, que l'on doit retrouver à la fin du dosage. Or, dans le cas présent, il est facile de voir que cette technique ne peut être probante. C'est qu'en effet la substance active absorbe le rayonnement propre qu'elle émet dans ses couches sous-jacentes; par conséquent, si après avoir mesuré l'activité des cendres seules, on leur ajoute un sel de potassium en quantité suffisante — eu égard à la sensibilité de l'électromètre — on fait varier l'épaisseur de la couche et par cela même on modifie l'intensité du rayonnement global dans un rapport qu'il n'est pas facile de préciser.

Nous avons donc imaginé un autre moyen de contrôle dont voici l'idée directrice : est-il possible de déceler à l'électromètre l'identité de plusieurs échantillons de cendres préparées à partir d'une même quantité de matière sèche dans des conditions aussi identiques que possible? C'était là d'ailleurs un procédé commode pour contrôler simultanément le processus d'obtention des cendres, c'est-à-dire pour s'assurer que pendant la calcination rapide effectuée sur la matière végétale en poudre fine il n'était pas perdu d'éléments volatils actifs.

Trois prélèvements de 20 gr. chacun ont été effectués sur des feuilles sèches de Vigne Vierge. Après la combustion nous avons obtenu trois échantillons de cendres grises, très légèrement charbonneuses, de poids sensiblement égal, sur lesquels les mesures d'activité effectuées dans un laps de temps très court ont donné les résultats suivants.

Échantillon	Poids en grammes	Temps de chute en présence des cendres <i>t'</i>	Temps moyen à vide <i>t</i>
n ^o 1	1,50	20 ^m 30 ^{sec}	26 ^m
n ^o 2	1,56	20 ^m	
n ^o 3	1,68	20 ^m 12 ^{sec}	

TABLEAU IV

Au degré de précision des lectures, la concordance est vraiment très satisfaisante.

La preuve était donc faite que l'électromètre Pohl, dans les conditions où nous l'utilisons, devait nous permettre d'aborder avec quelques chances de succès l'étude quantitative du rayonnement des cendres végétales que nous avions en vue.

B. — *RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX*

I. — RAYONNEMENT DES CENDRES VÉGÉTALES

Absorption du rayonnement par les cendres elles-mêmes.

L'absorption du rayonnement β du potassium par le sel qui l'émet a été étudiée par M. HENRIOT (52). Les résultats auxquels il a été conduit, confirmés par M. GUÉBEN (46), paraissent établis avec une certitude suffisante pour qu'on puisse espérer trouver dans une étude comparative du rayonnement des cendres un premier argument en faveur de son identité avec celui du potassium qu'elles contiennent.

Lorsqu'on augmente l'épaisseur de la couche d'une substance active répartie sur une surface invariable, le courant d'ionisation augmente tout d'abord proportionnellement à l'épaisseur, puis il croît moins vite; enfin il atteint une valeur limite à laquelle il se maintient quelle que soit cette épaisseur.

Cette « saturation » se produit lorsque le rayonnement des couches sous-jacentes est totalement absorbé par une couche supérieure qui seule joue un rôle efficace dans l'émission du rayonnement et dont l'épaisseur bien définie est précisément égale à l'épaisseur de saturation.

On a pris l'habitude d'exprimer cette épaisseur de saturation en gr./cm², parce que sous cette forme simple elle intervient directement dans le calcul du coefficient d'absorption et qu'il est possible de la déterminer avec précision par pesée, alors que sa mesure directe en mm. est assez incertaine.

Pour les rayons β de l'oxyde d'uranium l'épaisseur de saturation est de l'ordre de 2 gr./cm² (68), tandis que pour les rayons β du sulfate de potassium elle est de 0,5 gr./cm² d'après M. HENRIOT et de 0,55 gr./cm² d'après M. GUÉBEN. En ce qui con-

cerne le rayonnement β du sulfate de rubidium beaucoup plus facilement absorbable. M. HENRIOT estime que le courant maximum est atteint de façon certaine pour 0,2 gr./cm², mais que déjà pour 0,02 gr./cm² on obtient les 9/10 de ce courant maximum.

Désignons alors I_p l'intensité du courant d'ionisation produit par une couche de cendres d'épaisseur p gr./cm² et par I_∞ l'intensité du courant correspondant à la saturation, c'est-à-dire à une couche d'épaisseur infinie. D'autre part soient λ le coefficient d'absorption et ρ la densité des cendres.

Si l'on admet que le rayonnement est homogène, c'est-à-dire que l'absorption a lieu suivant la loi exponentielle, un calcul classique (52) montre que l'on a :

$$I_p = I_\infty \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{\rho} p} \right) \quad (1)$$

d'où l'on tire pour le coefficient massique d'absorption la valeur :

$$\frac{\lambda}{\rho} = \frac{1}{p} \text{Log} \frac{I_\infty}{I_\infty - I_p} \quad (2)$$

qui doit être constant si le rayonnement est bien homogène comme nous l'avons supposé.

Nos premiers essais se sont exercés sur des cendres totales de feuilles de Vigne Vierge récoltées par nous-même dans le jardin de l'Institut PASTEUR (environ 480 feuilles, représentant au total un poids de 405 gr. à l'état frais, ce qui correspond sensiblement à 86 gr. de matière sèche).

Ces cendres étaient étalées sur une surface de 40 cm² environ et les mesures d'activité étaient effectuées l'une à la suite de l'autre dans un intervalle de temps tel que le temps de chute à vide sur 2 divisions de l'échelle n'a pas varié de façon sensible entre le début et la fin des essais. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

VIGNE VIERGE (cendres)

Poids des cendres en grammes	Epaisseur en gr/cm^2 p	Temps de chute pour 2 divisions		Intensité du courant $I_p = \frac{2}{t'} - \frac{2}{t}$
		avec les cendres t'	à vide t	
0	0		90 ^m	
1,882	0,047	51 ^m 48 ^{sec}		0,016
3,764	0,094	44 ^m		0,023
6,087	0,152	38 ^m 50 ^{sec}		0,029

TABEAU V

La quantité maximum de cendres, 6 gr. 087, dont nous disposions au cours de ces mesures, s'est trouvé insuffisante pour que la saturation ait pu être atteinte. Dans ces conditions il ne nous a été possible de tracer que le début de la courbe de variation de l'intensité I_p du courant d'ionisation en fonction de l'épaisseur. L'allure de ce début de courbe était d'ailleurs telle que nous avons pu dans la suite la prolonger par continuité en

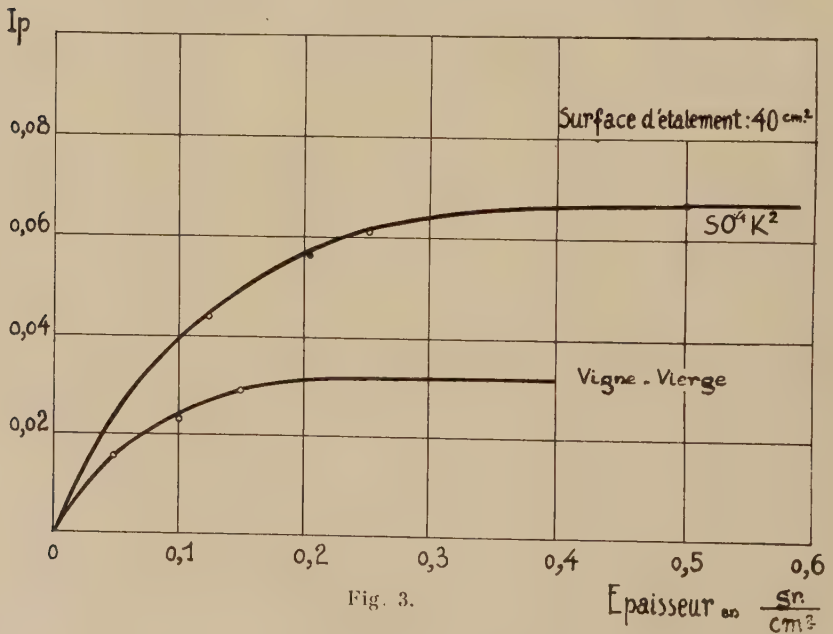


Fig. 3.

nous inspirant dans ce tracé complémentaire de l'allure générale des courbes de saturation obtenues ultérieurement avec d'autres cendres (fig. 3).

Comme on le voit, la saturation paraissait devoir être observée pour une épaisseur comprise entre 0,22 et 0,24 gr./cm², l'intensité du courant maximum ayant sensiblement pour valeur 0,032.

Admettons pour l'instant — nous justifierons tout à l'heure cette manière de voir — la valeur 0,032 pour l'intensité de saturation I_{∞} . Nous pouvons alors dresser le tableau suivant dans lequel nous indiquons les valeurs des rapports $\frac{I_p}{I_{\infty}}$ et $\frac{\lambda}{\rho}$:

VIGNE VIERGE (cendres)

Épaisseur en gr/cm ² p	$\frac{I_p}{I_{\infty}}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,047	0,5	14,74
0,094	0,718	13,46
0,152	0,906	16,2
0,230	1	

TABEAU VI

La variation du rapport $\frac{I_p}{I_{\infty}}$ en fonction de l'épaisseur est représentée sur la figure 4. Dans l'intention de comparer directement nos résultats avec ceux que M. HENRIOT a enregistrés sur le rayonnement β du sulfate de potassium, nous avons tracé cette courbe et les courbes similaires que nous rencontrerons dans la suite à l'échelle qu'HENRIOT lui-même utilise (52).

D'autre part, les nombres obtenus pour le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ sont très sensiblement concordants, leur valeur moyenne est $\frac{\lambda}{\rho} = 14,8$ et l'écart maximum qu'ils présentent est de 2,74. Cet écart est tout à fait analogue à ceux qui ont été obtenus par divers auteurs dans les essais du même ordre. Pour le sulfate de potassium les valeurs extrêmes de $\frac{\lambda}{\rho}$ trouvées par M. HENRIOT en 1912 sont

respectivement 10,22 et 12,2. M. GUÉBEN, en 1924, donne pour ce même sel 9,07 et 12,1 et pour le carbonate de potassium des nombres compris entre 8,75 et 11,5.

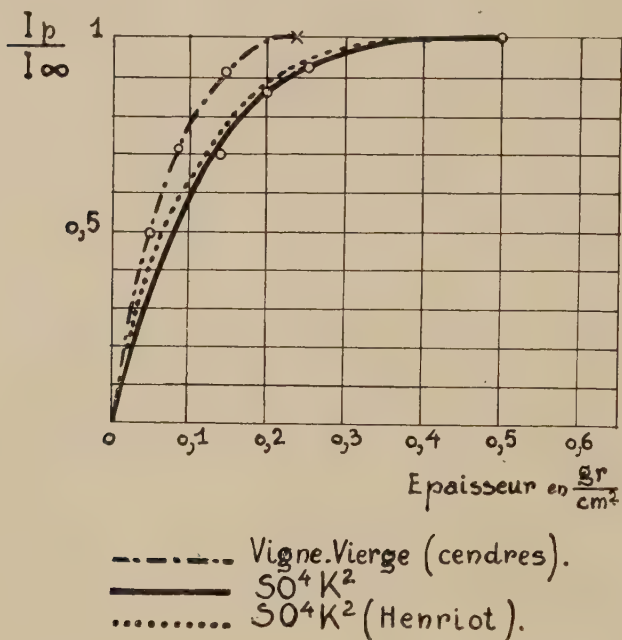


Fig. 4.

La constance assez satisfaisante des valeurs calculées pour $\frac{\lambda}{\rho}$ indique donc, dès à présent, que le rayonnement des cendres étudiées est très probablement homogène, c'est-à-dire qu'il doit être imputable à un seul élément actif disséminé dans les cendres.

Pour nous assurer s'il était dû à la présence du potassium, nous avons simultanément étudié l'absorption du rayonnement du sulfate de potassium par lui-même. Nous avons donc tracé la courbe de variation de l'intensité d'ionisation I_p de ce sel en fonction de l'épaisseur, dans l'intention de la comparer à celle que nous avons obtenue avec les cendres de Vigne Vierge, sur la même surface de 40 cm².

Les deux courbes ont rigoureusement la même allure ainsi

qu'on s'en rendra compte en examinant la figure 3 sur laquelle nous les avons rassemblées.

Voici d'autre part le tableau des nombres qui nous ont permis de tracer la courbe relative au sulfate de potassium. Nous y avons également indiqué les valeurs des rapports $\frac{I_p}{I_\infty}$ et $\frac{\lambda}{\rho}$.



Épaisseur p gr./cm ²	I_p	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,125	0,0462	0,700	9,63
0,200	0,0568	0,860	9,83
0,250	0,061	0,924	10,8
0,500	0,066	1	

TABEAU VII

La figure 4 précédente reproduit la courbe (en trait plein) de la variation du rapport $\frac{I_p}{I_\infty}$ à côté de celle que M. HENRIOT a obtenue pour ce même sel (courbe en pointillé). Nous avons pensé en effet qu'il serait intéressant de pouvoir faire directement la comparaison de nos résultats avec ceux de M. HENRIOT qui font autorité. La concordance est frappante et ceci nous donne toute garantie quant à l'exactitude de nos mesures.

En ce qui concerne la constance du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ elle apparaît également dans l'examen des nombres de la colonne 4 du tableau. La valeur moyenne de ces nombres est 9,92. Elle s'écarte en somme assez peu du nombre 11,32 que donne M. HENRIOT (52). Elle présente surtout l'avantage, nous semble-t-il, tout en concordant presque exactement avec le nombre 10,14 trouvé par M. GUÉBEN (46) de se rapprocher encore de celui qu'initialement N. R. CAMPBELL (27) avait indiqué, soit $\frac{\lambda}{\rho} = 8,23$. Il se trouve d'ailleurs — mais n'est-ce pas l'effet du hasard — que le nombre 9,92 que nous obtenons coïncide pour ainsi dire avec celui que donne la moyenne 9,89 des trois valeurs ci-dessus enregistrées avant nous.

En résumé :

1°) le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ étant sensiblement constant, le rayonnement des cendres de Vigne Vierge paraît homogène;

2°) comme les courbes de variation de I_p et de $\frac{I_p}{I_\infty}$ en fonction de l'épaisseur sont en tous points comparables à celles d'un sel de potassium — alors qu'elles n'ont par exemple aucun rapport avec les courbes analogues que M. HENRIOT obtient pour SO^4Rb^2 (52) — et que les valeurs obtenues pour $\frac{\lambda}{\rho}$ sont du même ordre de grandeur (1), il paraît, dès à présent, assez vraisemblable que le rayonnement des cendres de Vigne Vierge est celui du potassium qu'elles contiennent.

C'est également ce qui résulte d'une étude plus approfondie que nous avons effectuée ensuite sur les cendres d'autres végétaux dans l'intention de nous rendre compte si les résultats précédents obtenus avec la Vigne Vierge étaient généraux.

Nous avons donc étudié de la même manière l'absorption du rayonnement des cendres de feuilles d'Aucuba. C'est tout à fait incidemment que nous avons choisi l'Aucuba parce qu'il nous était possible lorsque nous avons tenté ces expériences — c'était pendant la saison d'hiver — d'en récolter de grandes quantités dans le jardin de l'Institut PASTEUR, alors que nous ne pouvions nous procurer en cette saison des feuilles fraîches d'autres végétaux en quantité suffisante.

Nous avons également utilisé du Tabac sec sous la forme de deux échantillons : l'un (Tabac n° 1) constitué par des débris de feuilles de provenances variées, l'autre (Tabac n° 2) constitué par des feuilles entières de tabac français récoltées en Dordogne (2). Notre choix s'est volontairement porté sur le Tabac parce que, ayant en vue la détection simultanée du rayonnement du rubidium, nous avons pensé que ce végétal particulièrement riche en cet élément serait un excellent matériel d'expérience.

(1) Pour SO^4Rb^2 , $\frac{\lambda}{\rho} = 96,7$ (52).

(2) Ces échantillons nous ont été aimablement fournis par M. le Directeur des Manufactures de Tabac de l'Etat que nous tenons à remercier bien vivement à cette place.

Voici les résultats obtenus dans cette étude où les cendres totales étaient réparties sur une surface de 36 cm².

1^o AUCUBA (*Auc. jap. THUNB.*)

Épaisseur p gr./cm ²	I_p	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,090	0,0084	0,646	11,53
0,152	0,011	0,846	12,3
0,180	0,0113	0,870	11,33
0,215	0,012	0,923	11,92
0,270	0,0134	1	
0,282	0,0130	1	
0,350	0,0133	1	

TABLEAU VIII

Nous avons ici, à dessein, effectué plusieurs déterminations dans la région de la saturation. Les 3 valeurs obtenues pour I_p dans ce domaine sont nettement concordantes.

Dans le calcul du rapport $\frac{I_p}{I_\infty}$ nous avons adopté pour I_∞ la valeur 0,0130.

Comme on le voit, le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ est parfaitement constant; les nombres obtenus s'écartent peu de leur valeur moyenne 11,77. Le rayonnement des cendres totales d'Aucuba paraît donc également homogène.

2^o — TABAC n^o 1

Épaisseur p gr./cm ²	I_p	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,055	0,0119	0,545	14,31
0,100	0,0151	0,694	11,84
0,200	0,0200	0,920	12,62
0,611	0,0217	1	

TABLEAU IX

Ici encore le rayonnement paraît homogène, avec pour $\frac{\lambda}{\rho}$ la valeur moyenne 13 environ.

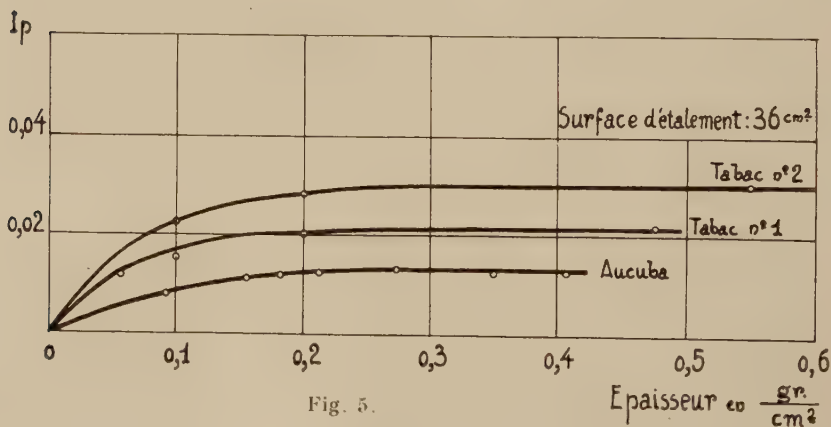
3° — TABAC n° 2 (Nic. tab. L.)

Epaisseur p gr /cm ²	I_p	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
0,100	0,022	0,733	13,20
0,200	0,028	0,933	13,51
0,550	0,030	1	

TABEAU X

Nous n'avons pas cru devoir faire sur ce nouvel échantillon de tabac un plus grand nombre de déterminations, le résultat général concernant l'homogénéité du rayonnement des cendres végétales étant une fois de plus confirmé. La valeur moyenne du rapport $\frac{\lambda}{\rho} = 13,35$ est très voisine de celle que nous avons obtenue pour l'échantillon de Tabac n° 1.

Nous donnons ci-contre les courbes de variation de l'intensité d'ionisation I_p en fonction de l'épaisseur de la couche de cendres, pour les trois végétaux précédents (fig. 5).



Comme on le voit, ces courbes, sont d'une similitude tout à fait remarquable entr'elles et aussi avec celles que nous avons tracées pour les cendres de Vigne Vierge et pour le sulfate de potassium (fig. 3).

Un similitude du même ordre caractérise également les courbes de variation du rapport $\frac{I_p}{I_\infty}$ que nous représentons sur la figure 6 et celles que reproduit la figure 4.

Sur ce graphique nous avons tracé la courbe relative aux cendres d'Aucuba pour laquelle nous avons déterminé un assez grand nombre de points expérimentaux. Les points correspondant aux deux échantillons de Tabac s'y groupent de façon telle

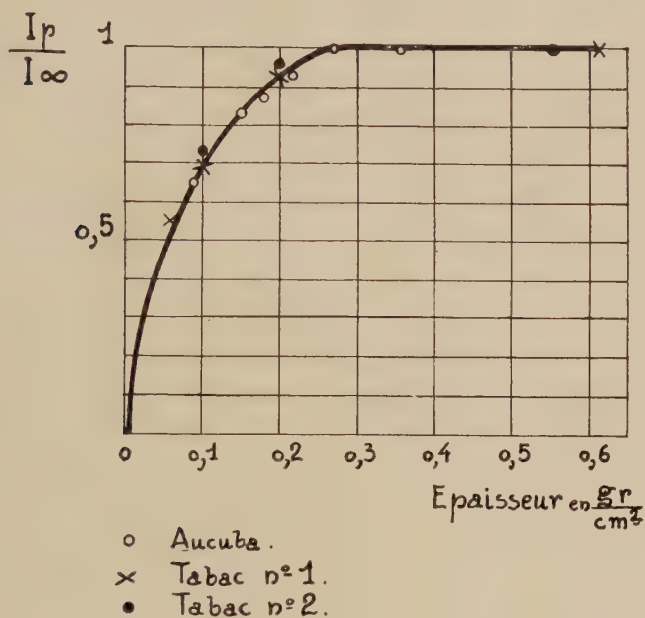


Fig. 6.

qu'à l'échelle du graphique les trois courbes paraissent se confondre.

La conclusion qui s'impose donc, c'est que, d'une façon très générale, les cendres de tous les végétaux doivent émettre un rayonnement ionisant de même nature.

Que ce rayonnement soit celui du potassium qu'elles contiennent, cela paraît dès à présent découler de la comparaison de l'absorption du rayonnement des cendres végétales et du sulfate de potassium par la substance ionisante elle-même. Nous avons cependant estimé nécessaire de poursuivre d'une manière plus

quantitative cette identification. Avant d'entreprendre l'exposé des recherches effectuées dans ce sens, il est utile que nous indiquions la loi de surface que nous avons eu l'occasion simultanément d'observer.

Loi de surface.

Comme on l'a vu ci-dessus (1) en présence d'une quantité de cendres de Vigne Vierge insuffisante pour atteindre la saturation, nous nous sommes trouvés dans l'obligation d'extrapoler la courbe de variation du courant d'ionisation I_p en fonction de l'épaisseur (fig. 3). Il s'agissait donc de justifier cette extrapolation. Dans ce but, nous avons eu l'idée de tracer des courbes analogues en utilisant des surfaces d'étalement telles que la quantité maximum de cendres dont nous disposions, soit 6 gr. 087, permette de réaliser des couches de saturation. A cet effet, nous avons adopté les surfaces de 20 cm² et de 25 cm². Les résultats des mesures effectuées dans ces conditions sont les suivants :

VIGNE VIERGE (cendres)

Surface d'étalement	Épaisseur p gr./cm ²	I_p	$\frac{I_p}{I_\infty}$	$\frac{\lambda}{\rho}$
20 cm ²	0,100	0,0125	0,735	13,27
	0,133	0,0152	0,888	15,94
	0,233	0,0171	1	
	0,300	0,0171	1	
25 cm ²	0,080	0,0137	0,634	12,56
	0,160	0,0196	0,907	14,80
	0,240	0,0216	1	

TABEAU XI

Le rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ est encore ici d'une constance très satisfaisante. Les valeurs moyennes des nombres obtenus sont respectivement 14,6 pour la surface de 20 cm² et 13,68 pour la surface de 25 cm². Ces valeurs sont en excellent accord avec la valeur $\frac{\lambda}{\rho} = 14,8$

(1) Voir page 74.

déduite des expériences précédentes, relatives à la surface de 40 cm², pour le calcul de laquelle nous avons admis le nombre $I_{\infty} = 0,032$ obtenu par extrapolation.

Cette concordance nous permet donc :

1°) de tirer un premier argument en faveur du procédé que nous avons adopté pour le tracé de la courbe de la figure 3.

2°) de fixer définitivement la valeur du rapport $\frac{\lambda}{\rho}$ pour les cendres de Vigne Vierge par la moyenne des 3 nombres précédents, ce qui nous conduit à adopter $\frac{\lambda}{\rho} = 14,36$.

Nous avons jugé intéressant de tracer sur un même graphique les trois courbes de variation de I_p en fonction de l'épaisseur obtenues en étalant les cendres sur trois surfaces différentes (fig. 7).

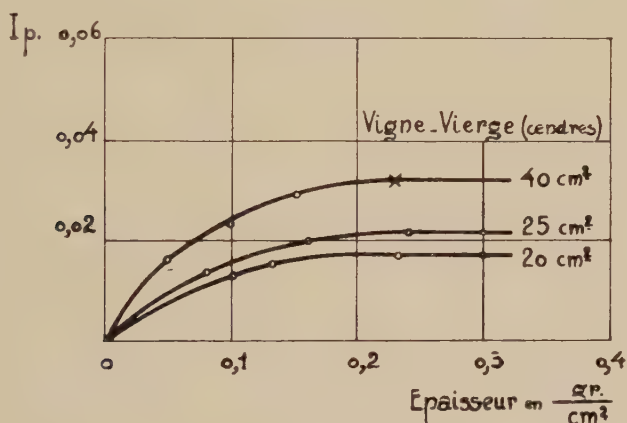


Fig. 7

C'est alors que nous est apparue cette loi de surface que nous avions déjà pressentie au début de notre étude, lorsque, recherchant les conditions de sensibilité maximum de l'électromètre, nous faisons varier en même temps que la quantité de substance active, l'épaisseur de la couche ionisante et sa surface d'étalement.

On observe aisément sur le graphique que les ordonnées des points de la courbe relative à la surface 40 cm² sont très sensi-

blement le double des ordonnées des points de même abscisse de la courbe tracée relativement à la surface 20 cm^2 . En d'autres termes, comme les surfaces sont dans le rapport du simple au double : *les intensités du courant d'ionisation correspondant à des couches d'égale épaisseur sont proportionnelles aux surfaces d'étalement de la surface active.*

La droite ci-dessous, tracée en portant en abscisses la surface et en ordonnées les valeurs I_∞ relatives à la saturation, illustre remarquablement cette loi (fig. 8).

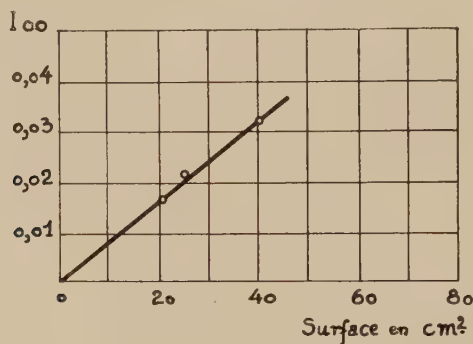


Fig. 8.

Nous retrouvons ainsi un résultat que très anciennement, en 1908, Mac LENNAN et KENNEDY (59) ont eu l'occasion d'observer sur des couches de saturation du sulfate de potassium. Ajoutons d'ailleurs, en toute impartialité, qu'il nous était apparu sous la forme plus générale que nous venons d'énoncer, alors que nous n'avions pas encore pris connaissance de ce travail ancien.

Que la loi de surface soit en effet valable quelle que soit l'épaisseur de la couche ionisante — et non pas seulement à la saturation — nous en trouvons la confirmation dans le fait que les courbes en $\frac{I_p}{I_\infty}$ relatives aux trois surfaces concordent rigoureusement (fig. 9). Car si l'on augmente la surface dans un certain rapport, simultanément les valeurs I_p pour une épaisseur donnée et I_∞ pour l'épaisseur de saturation augmentent dans ce même rapport, de telle sorte que leur quotient $\frac{I_p}{I_\infty}$ invariable reste indépendant de la surface.

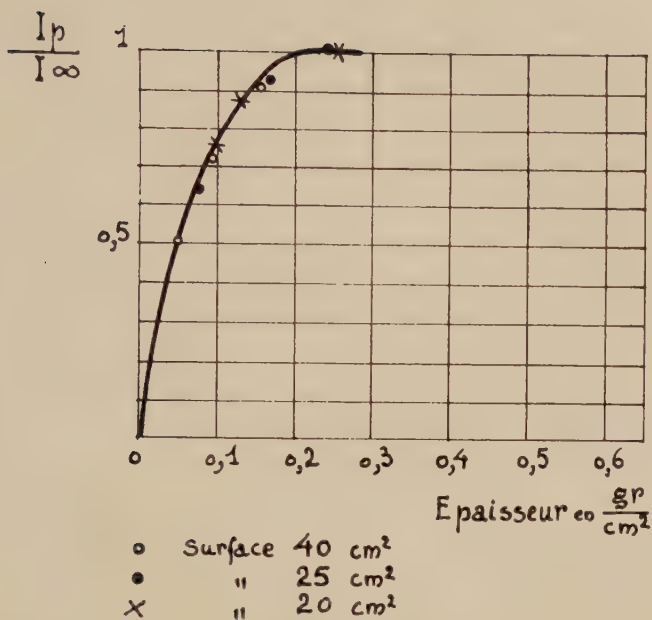


Fig. IX.

Remarquons enfin que cette concordance dans les résultats nous fournit un second argument en faveur de l'hypothèse arbitraire concernant la valeur de l'intensité de saturation relative à la surface de 40 cm², que par extrapolation nous avons prise égale à 0,032.

Proportionnalité de l'intensité de saturation à la teneur p. 100 des cendres en potassium.

L'examen des figures 2 et 4 montre que si l'allure des courbes de variation de I_p relatives au sulfate de potassium et aux cendres végétales est la même, les ordonnées des paliers de saturation, corrigées pour tenir compte de la loi de surface, présentent des différences notables. Le problème se pose alors d'en rechercher la cause.

On pense tout de suite à la différence de teneur des substances ionisantes en élément actif. Si donc, comme tout ce qui précède conduit à l'admettre, l'élément actif dans les cendres

est le potassium, il doit exister une relation entre la teneur en cet élément et l'intensité de saturation.

Ces déductions nous ont tout naturellement poussé à déterminer la concentration en potassium des cendres végétales utilisées. Avant d'aborder l'exposé des résultats auxquels nous avons été conduit, nous allons indiquer rapidement le principe de la méthode de dosage mise en œuvre.

Méthode de dosage du potassium dans les plantes (16).

On commence par faire les cendres, dans une capsule de silice, sur un poids connu de matière sèche pulvérisée, obtenue comme nous l'avons vu ⁽¹⁾ par dessiccation à + 120° d'une quantité également connue de matière à l'état frais. L'opération a lieu dans un four à moufle au rouge naissant à peine visible pour éviter qu'un chauffage trop intense entraîne la perte des sels de potassium.

Lorsque les cendres sont légèrement grises, la capsule est sortie du four. On laisse refroidir. Les cendres sont ensuite lavées à l'eau chaude plusieurs fois, puis par trituration, repos, décantation et filtration on sépare une solution qui contient la presque totalité des sels solubles.

Le résidu solide séché avec le filtre est porté encore une fois dans le four à moufle jusqu'à disparition totale du carbone. On lave de nouveau comme précédemment et on réunit les deux liquides de lavage. La solution aqueuse ainsi obtenue est évaporée à sec d'abord au bain-marie, ensuite à l'étuve. On obtient alors l'extrait sec de la partie soluble que l'on pèse. On pèse aussi les cendres blanches insolubles restées sur le filtre, après calcination de celui-ci. On connaît donc ainsi, par addition des deux poids, celui des cendres totales que donne la prise d'essai à l'état frais.

L'extrait sec de la partie soluble est redissous dans un peu d'eau. On transvase la solution dans une fiole jaugée, puis, après addition d'aliéanthine, on acidifie légèrement par l'acide chlorhydrique; enfin on complète à 50 cc.

C'est alors que commence le dosage basé sur la méthode de SÉRULLAS au perchlorate (92), selon la technique de SCHLOESING (91) mise définitivement au point par M. G. BERTRAND (16).

(1) Voir page 62.

Pour obtenir un dosage correct, il faut prendre quelques précautions sur lesquelles M. G. BERTRAND a attiré l'attention.

1°) Lorsqu'on précipite le potassium, les acides déplacés de leurs sels par l'acide perchlorique réalisent un équilibre avec lui, ce qui laisse une fraction du potassium en solution. Il faut donc éliminer ces acides. On se débarrasse d'abord de l'acide sulfurique par le chlorure de baryum; on ajoute ensuite une quantité d'acide perchlorique (environ 2 fois le poids des sels dissous dans la prise d'essai) plus grande que celle qui serait nécessaire pour transformer en perchlorate la totalité des métaux présents. Enfin on chasse l'acide chlorhydrique déplacé par évaporation. Quant aux petites quantités d'acide phosphorique présent dans la solution des cendres, elles ne gênent pas.

2°) Le perchlorate de potassium qui précipite reste imprégné de sels étrangers; pour le purifier, il faut le recristalliser.

3°) A la fin du dosage, on sépare le perchlorate de potassium par trituration dans l'alcool où il est beaucoup moins soluble que dans l'eau. Or il a été démontré qu'il se dissout tout de même légèrement dans l'alcool dans la proportion de 1 partie environ pour 5.000 parties d'alcool à 96° et qu'il est préférable, pour diminuer cette solubilité, d'utiliser pour les lavages l'alcool à 96° additionné de 0,2 p. 100 de son poids d'acide perchlorique.

Le mode opératoire est alors le suivant : on prélève dans un gobelet de verre un volume de 20 cc. de la liqueur à doser et on précipite à l'ébullition l'acide sulfurique des sulfates par le chlorure de baryum en très léger excès. On filtre et on évapore jusqu'à 20 cc. environ au B.M., dans une capsule de silice, la solution filtrée additionnée des eaux de lavage du sulfate de baryum; on ajoute alors 2 cc. d'acide perchlorique concentré et on continue l'évaporation jusqu'à ce qu'on obtienne un résidu presque sec. On ajoute encore 1 cc. du réactif, 15 cc. d'eau chaude environ puis on évapore encore une fois. Lorsque le résidu est devenu sirupeux, on chauffe un instant au bain de sable, en agitant avec une baguette de silice jusqu'à production de fumées blanches. Ces fumées sont dues à l'acide perchlorique et témoignent du départ complet de l'acide chlorhydrique.

Après refroidissement, on triture le résidu dans 20 cc. du mélange alcool-acide perchlorique dont il a été question précé-

demment. On laisse reposer, puis on décante le liquide dans un creuset Schott-Iéna n° 3 taré. On délaie de nouveau le précipité deux ou trois fois avec chaque fois quelques cc. du mélange de lavage, et on décante.

Le perchlorate de potassium qui est resté dans la capsule doit être recristallisé pour le débarrasser des sels qu'il a pu retenir. A cet effet la capsule est chauffée doucement au B. M. pour chasser l'alcool. Ensuite on dissout le précipité dans un peu d'eau chaude aduotionnée de quelques gouttes d'acide perchlorique et on évapore lentement jusqu'à production des fumées blanches.

Après refroidissement on ajoute 1 cc. du mélange alcool-acide, on décante et on lave en entraînant les cristaux de perchlorate dans le creuset; on termine le lavage par 2 à 3 cc. d'alcool pur à 96° pour déplacer l'alcool-acide.

On sèche alors le creuset à +125° jusqu'à poids constant. On obtient le poids du potassium contenu dans le volume de la solution prélevé en multipliant le poids de perchlorate par le coefficient 0,2822.

Cette technique donne d'excellents résultats comme on peut s'en rendre compte en examinant le tableau suivant, dans lequel nous indiquons les poids du précipité de perchlorate obtenu au cours des dosages. Chaque dosage a été fait en double sur deux parties aliquotes de substance. Dans le calcul des teneurs en potassium nous avons pris la moyenne des nombres ci-dessous.

Plante analysée	Poids de ClO_4K en grammes		Différence absolue	Différence relative pour 1000
	Echantillon n° 1	Echantillon n° 2		
Vigne Vierge..	0,164.4	0,164.8	0,000.4	2,4
Aucuba	0,229.6	0,230.5	0,000.9	3,9
Tabac n° 1. . .	0,366.0	0,367.3	0,001.3	3,5

TABLEAU XII

En possession de la teneur des cendres en potassium, nous avons constaté que l'intensité de saturation I_∞ lui était très sensiblement proportionnelle.

Pour établir ce résultat important il est nécessaire de faire

intervenir la loi de surface puisque toutes les mesures d'activité n'ont pas été effectuées avec la même surface d'étalement. Voici en effet, telles qu'elles ont été déduites des mesures précédentes, les valeurs de I_{∞} pour les substances étudiées.

Substance ionisante	Surface d'étalement en cm ²	I_{∞}
SO ⁴ K ²	40	0,066
Vigne vierge..	40	0,032
Tabac n° 2 ...	36	0,030
- n° 1 ...	36	0,0217
Aucuba.....	36	0,0130

TABLEAU XIII

Pour rapporter tous les résultats à la surface de 36 cm² nous avons donc multiplié par le rapport 36/40 les valeurs de I_{∞} relatives au sulfate de potassium et aux cendres de Vigne Vierge, pour lesquelles les mesures ont été faites sur la surface de 40 cm². Les valeurs ainsi corrigées sont indiquées par un astérisque dans la colonne 2 du tableau suivant :

Substance ionisante	I_{∞}	K % cendres	$\frac{I_{\infty} \times 10^5}{K \%}$
SO ⁴ K ²	0,0594 *	44,87	132
Tabac n° 2 ...	0,030	24,66 (1)	122
Vigne Vierge .	0,0288 *	23,52	122
Tabac n° 1 ...	0,0217	17,24	126
Aucuba	0,0130	10,14	128

TABLEAU XIV

Comme on le voit le rapport de l'intensité de saturation à la teneur pour cent en potassium (4^e colonne du tableau) est très constant et la courbe qui traduit graphiquement ce résultat est bien une droite (fig. 10).

(1) Le dosage du potassium dans le Tabac n° 2 a été fait, en cours de rédaction, par Mme ROSENBLATT, Assistante à l'Institut PASTEUR; nous lui adressons nos bien vifs remerciements pour son aimable collaboration.

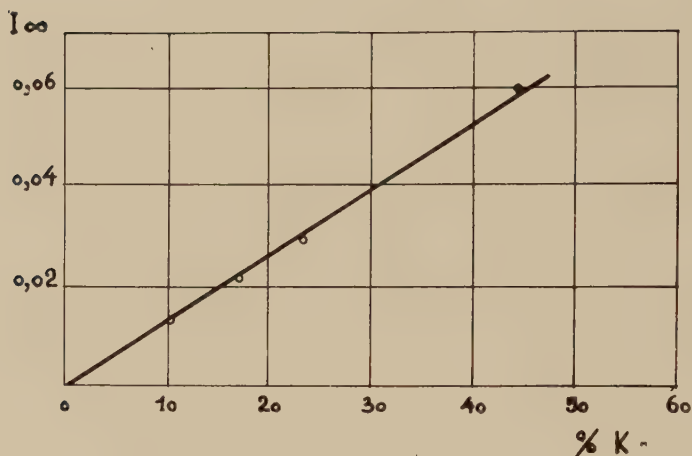


Fig 10.

L'écart entre les valeurs extrêmes du rapport précédent représente à peine 8 % environ de sa valeur moyenne. Cet écart est d'un ordre de grandeur tout à fait satisfaisant si l'on tient compte des difficultés expérimentales, et si on le compare à ceux qui ont été observés par différents auteurs qui, dans l'intention de démontrer que le rayonnement des sels de potassium est une propriété atomique, ont recherché s'il existait une relation de proportionnalité entre l'intensité du courant d'ionisation et la teneur des sels en élément actif. Pour faciliter cette comparaison nous avons rassemblé dans le tableau suivant les écarts obtenus par les expérimentateurs les plus autorisés qui s'étant intéressé à ce problème ont conclu en faveur de la proportionnalité.

Année	Auteur	Valeurs extrêmes du rapport $\frac{I_{\infty}}{K \%}$	Ecarts %
1908	CAMPBELL	136 à 181	30
1912	HENRIOT	110 à 126	13
1924	GUÉBEN	64,3 à 97,2	40
	Nous-même	122 à 132	8

TABEAU XV

Pour expliquer que la proportionnalité ne soit pas rigoureuse on a suggéré comme principal argument que, du fait de l'absorption du rayonnement dans la substance qui l'émet, l'intensité que l'on mesure ne représente pas exactement l'intensité réelle du courant d'ionisation qui serait produit par le potassium présent s'il n'y avait pas absorption. Par conséquent, comme par suite des différences de densité l'absorption varie d'une substance à l'autre, les résultats expérimentaux doivent traduire l'influence de cette absorption spécifique par des fluctuations dans la constance du rapport envisagé ci-dessus.

En d'autres termes, il doit exister entre l'intensité de saturation et la teneur en potassium une relation, moins simple que celle que nous avons précisée, dans laquelle l'absorption intervient.

Cette relation N. R. CAMPBELL (27) l'a énoncée sous la forme suivante. Désignons par A l'intensité du rayonnement réellement émis par 1 gr. de potassium, par α la quantité d'élément actif contenue dans 1 gr. de substance ionisante; le calcul qui conduit à la formule (1) de la page 73 donne

$$A = \frac{I_{\infty}}{\alpha} \cdot \frac{\lambda}{\rho}$$

Cette quantité A, d'après sa définition même, doit être constante quelle que soit la substance étudiée. Rigoureusement donc, si on tient compte de l'absorption, ce n'est pas le rapport $\frac{I_{\infty}}{\alpha}$ qui doit être constant, mais son produit par $\frac{\lambda}{\rho}$. Remarquons d'ailleurs que dans le cas qui nous occupe les valeurs de $\frac{\lambda}{\rho}$ (tableau 16) pour les substances analysées ne présentent pas de différences si grandes qu'on ne puisse s'attendre à ce que, en première approximation, la constance de $\frac{I_{\infty}}{\alpha}$ entraîne celle de A.

Comme nous disposions de tous les éléments expérimentaux nécessaires, nous avons tenté cette vérification qui d'ailleurs, en ce qui concerne les sels de potassium, n'a jamais été faite antérieurement.

Dans le tableau qui suit nous indiquons à côté des valeurs

de $\frac{\lambda}{\rho}$ celles du rapport $\frac{I_{\infty}}{\alpha}$, étant entendu qu'ici α représente non pas la concentration du potassium pour cent, mais la concentration pour 1 gr. de substance active.

Substance ionisante	$\frac{I_{\infty}}{\alpha}$	$\frac{\lambda}{\rho}$	$A = \frac{I_{\infty}}{\alpha} \cdot \frac{\lambda}{\rho}$
SO ⁴ K ²	0,132	9,92	1,3
Tabac n° 2...	0,122	13,35	1,6
Vigne Vierge..	0,122	14,36	1,7
Tabac n° 1...	0,126	13	1,6
Aucuba.....	0,128	11,77	1,5

TABLEAU XVI

Ainsi qu'il était prévu, la constance du rapport A est très bien vérifiée pour les cendres végétales. Nous admettrons donc que la proportionnalité de l'intensité du courant de saturation produit par ces cendres à leur teneur % en potassium se trouve démontrée.

Dans ces conditions nous devons conclure que, par les procédés d'étude mis en œuvre jusqu'à présent, seul parmi les éléments actifs contenus dans les cendres végétales le potassium se trouve décelé. Ce résultat en somme est conforme à nos prévisions : nous avons en effet montré sur deux exemples précis (1) que d'après leurs faibles concentrations dans les végétaux le rubidium et le radium présents doivent émettre un nombre de particules β très faible vis-à-vis de celui qu'émet le potassium qui les accompagne.

Selon toute vraisemblance donc, ce nombre est trop petit pour que son influence soit discernable par la mesure globale d'un phénomène d'ionisation dans lequel le potassium joue un rôle prépondérant.

En ce qui concerne tout particulièrement le radium, A. MICKWITZ (70) dans un travail assez récent sur la radioactivité de certaines boues minérales parvient à une conclusion analogue. Ayant

(1) Voir page 19.

décelé dans ces boues l'activité du potassium alors que celle du radium lui échappe, il donne également l'argument que l'activité des traces de cet élément se trouve masquée par celle des quantités importantes du potassium simultanément présent.

Absorption du rayonnement par des écrans minces.

Nous n'en avons pas moins poursuivi nos tentatives de discrimination en nous efforçant de mettre en œuvre une méthode de recherche basée sur l'étude d'une propriété spécifique à chaque rayonnement. Nous avons pensé que l'analyse de l'absorption du rayonnement total des cendres par des écrans minces d'une substance faiblement absorbante répondait à cette préoccupation. Comme on le sait, en effet, ce procédé, basé sur l'inégalité d'absorption des différents rayonnements β constituants est utilisé couramment lorsqu'on veut reconnaître l'hétérogénéité d'un rayonnement complexe. Il consiste à étudier comment varie l'intensité du courant produit par une couche de *saturation* de la substance ionisante lorsqu'on recouvre sa surface d'émission par des écrans minces en nombre croissant.

Désignons alors par I_0 l'intensité du courant de saturation en l'absence d'écran et par I_p l'intensité de ce courant après passage à travers un écran d'épaisseur p gr/cm². Soient d'autre part μ le coefficient d'absorption de l'écran et ρ sa densité. Si le rayonnement est homogène on doit avoir :

$$I_p = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} p} \quad (3)$$

d'où l'on déduit pour le coefficient massique d'absorption de l'écran

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{p} \text{Log} \frac{I_0}{I_p} \quad (4)$$

En principe donc, les valeurs expérimentales de $\frac{\mu}{\rho}$ doivent être constantes si l'hypothèse faite en ce qui concerne l'homogénéité du rayonnement est exacte.

En pratique cependant quelques restrictions importantes s'imposent.

D'une part il a été démontré récemment que, même si l'on

trouve une valeur constante pour le rapport $\frac{\mu}{\rho}$ — il ne peut être toujours conclu que le rayonnement est nécessairement homogène. Il y a là un problème délicat que MM. G. FOURNIER et M. GUILLLOT (40) ont illustré par l'étude de l'absorption du rayonnement β du Radium E. C'est ainsi que le spectre de ce rayonnement comprend toute une série continue de rayons β d'énergies différentes; or, malgré cette hétérogénéité non douteuse, ce rayonnement paraît être absorbé suivant une loi exponentielle simple.

Ce résultat d'aspect un peu paradoxal dont on ignore pour l'instant l'interprétation théorique, montre combien il faut être prudent dans les conclusions qu'on doit tirer d'une étude d'absorption.

Inversement d'ailleurs, s'il existe des écarts avec la loi exponentielle simple, on n'est pas toujours en droit de conclure à l'hétérogénéité d'un rayonnement.

Un premier argument est fourni par le fait qu'il peut y avoir superposition du rayonnement primaire avec le rayonnement secondaire moins pénétrant qu'il peut produire lorsqu'il rencontre l'écran. C'est à ce phénomène que M. HENRIOT, en 1912, et M. GUÉBEN, en 1924, attribuent l'hétérogénéité apparente qu'ils ont observée dans le rayonnement β du potassium qui pourtant, selon l'opinion généralement admise aujourd'hui, paraît homogène lorsqu'on en fait l'étude par la méthode électrométrique. Cela les conduit à représenter leurs résultats expérimentaux par une exponentielle à deux termes dans laquelle le terme prépondérant représente 90 ou 80 % du rayonnement en l'absence d'écran, avec un coefficient $\frac{\mu}{\rho}$ de l'ordre de 14, l'autre terme, pour lequel $\frac{\mu}{\rho}$ est d'environ 100, correspondant au rayonnement secondaire dans la proportion de 10 ou 20 % du rayonnement total.

Un autre argument fait intervenir le phénomène de diffusion qui, en première approximation, se caractérise de la façon suivante : à la sortie des écrans absorbants le rayonnement se trouve dispersé dans toutes les directions de telle sorte qu'il ne pénètre plus en totalité dans la chambre d'ionisation comme il est supposé le faire en l'absence d'écran. On tient compte de cette perte de rayonnement dans l'hypothèse de la loi exponentielle d'ab-

sorption en supposant que tout se passe comme si le rayonnement avait parcouru dans la matière absorbante, sans diffusion, un chemin égal à B fois l'épaisseur réelle des écrans. Ce facteur B qu'on appelle coefficient de LÉNARD dépend d'ailleurs de la vitesse des particules β : pour l'aluminium il varie de 1,6 à 1,8 quand cette vitesse varie de 0,92 c à 0,35 c (c vitesse de la lumière dans le vide).

Mais il y a plus : déjà à travers les couches épaisses de saturation qu'on utilise dans ces essais, le rayonnement a subi une première diffusion par la substance active elle-même. Il aborde alors l'écran, non plus comme un rayonnement parallèle mais comme un rayonnement oblique. Pour tenir compte de l'influence de ces deux diffusions successives on doit remplacer la fonction exponentielle, modifiée comme il vient d'être dit, par une autre fonction complexe (69) dans laquelle intervient d'ailleurs encore le coefficient B de LÉNARD.

Par des considérations de cet ordre Marie KUBAN (55) explique que W. D. HARKINS et W. G. GUY (51) qui ne tenaient pas compte de la diffusion, aient obtenu pour les rayonnements du potassium et du rubidium des valeurs de $\frac{\mu}{\rho}$ dans l'aluminium qui varient beaucoup lorsqu'on augmente l'épaisseur d'écran, alors qu'elle-même qui en tient compte obtient des valeurs très sensiblement constantes.

Cette complexité dans le phénomène de l'absorption permet de comprendre pourquoi les résultats concernant les valeurs de

Année	Auteur	Sel utilisé	Ecran absorbant	Epaisseur d'écran en cms	$\frac{\mu}{\rho}$
1906	CAMPBELL et WOOD	SO ⁴ K ²	Sn	de 0,0013 à 0,005	de 27,2 à 10,6
1912	HENRIOT	SO ⁴ K ² et KCl	»	de 0,0015 à 0,016	14
1924	GUÉBEN	SO ⁴ K ²	»	de 0,0018 à 0,015	13
1925	HARKINS et GUY	K Cl	Al	de 0,0035 à 0,04	de 14,7 à 20,5
1928	KUBAN	K Cl	»	de 0,01 à 0,04	10,8
1931	ORBAN	SO ⁴ K ²	»	0,05	18

TABLEAU XVII

$\frac{\mu}{\rho}$ pour les rayonnements du potassium sont assez discordants selon les expérimentateurs, comme on s'en rendra compte aisément par l'examen du tableau XVII.

Avant de commencer l'étude de l'absorption sur le rayonnement des cendres, nous avons jugé utile d'examiner d'abord l'influence des écrans minces sur le rayonnement du sulfate de potassium. Devant l'incertitude qui subsiste sur les résultats quantitatifs que nous venons de rappeler, il nous a paru nécessaire, en effet, de rechercher nous-même les faits expérimentaux qui puissent nous servir de base pour une comparaison fondée entre les caractères de l'absorption du rayonnement de cendres et ceux de l'absorption du rayonnement β du potassium. D'ailleurs, comme la forme des courbes d'absorption et les valeurs du coefficient $\frac{\mu}{\rho}$ dépendent dans une certaine mesure de l'appareil de détection, il était tout indiqué d'établir les résultats relatifs au sulfate de potassium et aux cendres avec le même dispositif de mesure.

Dans cet ordre d'idées, nous avons étudié l'absorption à travers des filtres d'étain et d'aluminium pour lesquels les résultats du tableau ci-dessus ont été établis. Nous avons également utilisé des écrans en cellophane analogues à celui qui obture la chambre d'ionisation de l'électromètre. Ce choix nous a été inspiré par une double préoccupation :

1°) M. HENRIOT a étudié le rayonnement mou du rubidium en l'absorbant par des feuilles de papier à cigarettes (52) ; il était naturel, ayant en vue la détection du rayonnement du rubidium à côté de celui du potassium qui l'accompagne dans les cendres, de faire intervenir un filtre fait d'une substance analogue, aussi peu absorbante ;

2°) nous avons choisi la cellophane avec l'intention d'apprécier dans quelles proportions l'obturateur de la chambre d'ionisation absorbe le rayonnement étudié.

Du point de vue quantitatif, dans ces divers essais, nous avons adopté la loi exponentielle simple, ce qui nous a conduit pour $\frac{\mu}{\rho}$ à des valeurs très constantes pour chacun des écrans absorbants. Que ces résultats soient probants nous en avons

recherché la confirmation. Comme nous le verrons dans la suite, la loi de G. FOURNIER (39) relative aux rayonnements β des éléments radioactifs nous en a fourni le moyen.

I. — RAYONNEMENT DU SULFATE DE POTASSIUM

Les mesures d'absorption sur le rayonnement du sulfate de potassium ont été faites en prenant la précaution suivante : comme les observations à l'électromètre ne pouvaient être effectuées dans un intervalle de temps suffisamment court pour que de l'une à l'autre le mouvement propre de l'appareil n'ait pas varié sensiblement, nous avons tenu à déterminer au cours de chaque mesure, en même temps que la valeur I_p de l'intensité du courant en présence du filtre absorbant, la valeur I_0 de l'intensité du courant sans écran. Les valeurs de I_0 sont indiquées dans le tableau de chiffres que nous avons dressé pour chaque substance absorbante : par suite des variations du mouvement propre, ces nombres présentent nécessairement entre eux quelques légères différences.

C'est à cette précaution, croyons-nous, que nous devons d'avoir obtenu pour $\frac{\mu}{\rho}$ des nombres sensiblement constants, alors que les expérimentateurs dont nous avons signalé précédemment les résultats inconstants, ne paraissent pas en avoir tenu compte.

Nous avons représenté graphiquement la variation du rapport $\frac{I_p}{I_0}$ en fonction de l'épaisseur d'écran absorbant à la fois dans le système des coordonnées habituelles et dans celui des coordonnées logarithmiques. Disons tout de suite que, dans ce dernier cas, nous avons obtenu très rigoureusement des droites dont les coefficients angulaires nous ont permis de contrôler graphiquement les valeurs de $\frac{\mu}{\rho}$ pour chaque substance absorbante.

1. — Absorption par des feuilles d'étain.

SO⁴K² — Etain

Nombre de feuilles	Epaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{\mu}{\rho}$
2	0,0243	0,0552	0,0786	14,54
3	0,0336	0,0477	0,0776	14,48
5	0,0564	0,0370	0,0855	14,84
8	0,0914	0,0198	0,0774	14,88

TABEAU XVIII

Comme on le voit le coefficient $\frac{\mu}{\rho}$ est très constant; sa valeur moyenne coïncide avec celle que l'on peut calculer à partir de la droite de la figure 12, soit $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Sn} = 14,7$, nombre qui s'éloigne peu du nombre 14 obtenu par M. HENRIOT.

Nous indiquons ci-dessous (fig. 11) la courbe de variation du rapport $\frac{I_p}{I_0}$ en fonction de l'épaisseur; sur le même graphique nous avons représenté les courbes analogues pour l'aluminium et la cellophane.

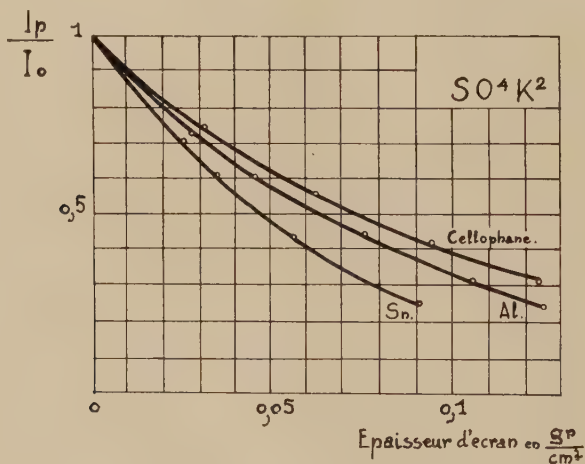


Fig. 11.

2. — Absorption par des feuilles d'aluminium.

SO⁴ K^o — Aluminium.

Nombre de feuilles	Épaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{\mu}{\rho}$
12	0,0284	0,0628	0,0858	10,98
20	0,0462	0,0495	0,0822	10,97
32	0,0759	0,0355	0,0802	10,73
44	0,1050	0,0253	0,0802	11,00
51	0,1250	0,0220	0,0841	10,72

TABEAU XIX

Même remarque en ce qui concerne la constance du rapport $\frac{\mu}{\rho}$. Sa valeur moyenne s'écarte peu de celle que donne le graphique en coordonnées logarithmiques (fig. 12), soit $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Al} = 11$, en très bonne concordance avec le nombre 10,8 donné par Marie KUBAN.

3. — Absorption par des feuilles de Cellophane.

SO⁴ K² — Cellophane

Nombre de feuilles	Épaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{\mu}{\rho}$
5	0,031	0,0623	0,0841	9,66
10	0,062	0,0478	0,0850	9,28
15	0,093	0,0345	0,0836	9,51
20	0,124	0,0270	0,0850	9,25

TABEAU XX

La constance du rapport $\frac{\mu}{\rho}$ apparaît encore ici; elle nous permet d'adopter la valeur $\frac{\mu}{\rho} = 9,4$, en accord parfait avec celle que l'on peut déduire de la droite correspondante de la figure ci-après (fig. 12).

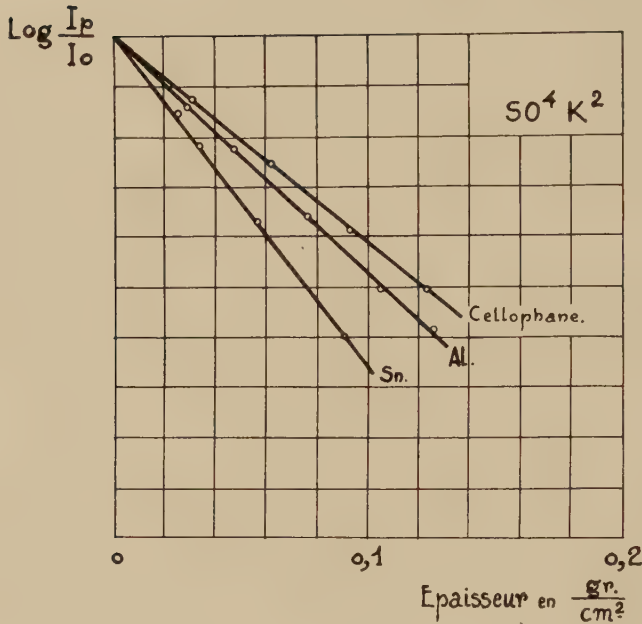


Fig 12

Les résultats relatifs à la cellophane nous ont donné la possibilité d'évaluer l'ordre de grandeur de l'absorption que l'écran obturateur de la chambre d'ionisation exerce sur les rayonnements que nous avons étudiés. Il ne faut pas oublier en effet que dans toutes nos mesures une fraction du rayonnement est absorbée par son passage à travers cet écran, bien que, en ce qui concerne les rayonnements β , cette absorption ne nous gêne pas puisqu'il s'agit de mesures comparatives et que tous les rayonnement mesurés sont absorbés dans la même proportion.

Pour apprécier l'influence de l'obturateur nous avons construit à grande échelle la courbe qui représente les variations de I_p en fonction de l'épaisseur d'écran, en tenant compte de ce que, même en l'absence de filtre entre le fond de la chambre et la surface d'émission du sel de potassium, le rayonnement doit traverser une double épaisseur de cellophane 0,04 mm., soit 0,0073 gr./cm² (1). Donc l'intensité du courant que, dans ce qui précède,

(1) Dans ces divers essais la capsule contenant les cendres se trouvait au-dessus de la chambre d'ionisation (p. 63).

nous avons désignée par I_0 , correspond en réalité à cette double épaisseur d'écran.

Pour construire la courbe nous avons utilisé les résultats inscrits dans le tableau suivant; en particulier, pour l'intensité I_0 du rayonnement à travers l'épaisseur 0,0073 gr./cm², nous avons adopté la moyenne 0,0844 des quatre valeurs inscrites dans le tableau 20.

SO³ K² — Cellophane (correction d'écran)

Épaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	$\frac{\mu}{\rho}$
0,0073	0,0844	9,07
0,0383	0,0623	9,86
0,0693	0,0478	9,12
0,1003	0,0345	9,58
0,1313	0,0270	9,16

TABLEAU XXI

La courbe ainsi tracée a été prolongée par extrapolation jusqu'à l'axe des ordonnées. L'intersection nous a donné la valeur de l'intensité du courant en l'absence totale d'absorbant; nous la désignerons par J_0 . En opérant ainsi nous avons trouvé $J_0=0,09$.

L'application de la formule (4) sous la forme $\frac{\mu}{\rho} = \text{Log } \frac{J_0}{I_p}$ nous a permis alors de calculer les nouvelles valeurs de $\frac{\mu}{\rho}$ (colonne 3 du tableau). On observe que les nombres ainsi obtenus sont très sensiblement constants. Leur valeur moyenne $\frac{\mu}{\rho} = 9,36$ est en concordance parfaite avec celle que nous avons enregistrée tout à l'heure, ce qui justifie le mode opératoire que nous avons adopté.

Quant à l'influence de l'écran qui obture la chambre d'ionisation, elle se traduit par le fait que l'intensité maximum $J_0 = 0,09$ se trouve abaissée à la valeur $I_0 = 0,0844$, introduisant ainsi une diminution d'intensité de 0,0056 soit environ 5 p. 100.

Il nous a paru que cette absorption, pour si faible qu'elle soit, pouvait ne pas être négligeable lorsqu'il s'agit du très faible rayonnement émis par les végétaux à l'état sec. C'est pourquoi,

dans les essais relatifs à la matière sèche, malgré la légère complication expérimentale que cela entraîne, nous avons renversé l'appareil de mesure dans la position indiquée par la figure 1, ce qui supprime une épaisseur d'écran.

Vérification de la loi de Fournier. — En 1927, M. G. FOURNIER (39) a trouvé qu'il existe une relation simple entre le coefficient massique d'absorption des métaux pour le rayonnement β des éléments radioactifs lourds et leur nombre atomique Z .

Cette relation s'écrit :

$$\frac{\mu}{\rho} = a + bZ \quad (5)$$

a et b étant deux coefficient numériques entre lesquels il existe un rapport constant. M. FOURNIER a calculé que l'on avait en effet $\frac{a}{b} = 105$

Dans ces conditions, la relation (5) devient

$$\frac{\mu}{\rho} = b(105 + Z) \quad (6)$$

formule dans laquelle, selon l'auteur, le coefficient b caractérise la « qualité des rayons β ».

Nous avons tenté de vérifier si le rayonnement β du potassium obéissait à cette loi. A cet effet nous avons calculé les coefficients a et b que l'on peut attribuer au potassium à partir des valeurs des coefficients $\frac{\mu}{\rho}$ que nous avons obtenues pour l'étain ($Z = 50$) et pour l'aluminium ($Z = 13$).

Si la loi de FOURNIER s'applique au potassium nous devons avoir :

$$\begin{array}{ll} \text{pour l'étain} & \dots\dots\dots 14,7 = a + 50 \, b \\ \text{pour l'aluminium} & \dots\dots\dots 11 = a + 13 \, b \end{array}$$

d'où nous déduisons :

$$a = 9,70 \text{ et } b = 0,100$$

c'est-à-dire :

$$\frac{a}{b} = 97$$

nombre qui n'est pas très différent de celui que M. FOURNIER attribue aux différents rayonnements β qu'il a étudiés.

Pour faciliter la comparaison, nous rappelons ci-dessous les résultats numériques de FOURNIER en y intercalant logiquement ceux que nous venons d'énoncer :

Provenance des rayons β	a	b	$\frac{a}{b}$
Radium C (?).....	3,66	0,0348	105,2
Secondaires.....	5,73	0,0547	104,8
Uranium X	5,90	0,0562	105,0
POTASSIUM	9,70	0,100	97,0
Radium E (et RaB?)... ..	15	0,142	105,6

TABLEAU XXII

Comme on le voit, le potassium vient s'insérer très normalement entre l'Uranium X et le Radium E, ce qui est en parfait accord avec l'opinion admise généralement.

La concordance de nos résultats avec la loi de FOURNIER apparaît donc comme très satisfaisante, bien que le rapport $\frac{a}{b} = 97$ auquel nous parvenons présente un écart d'environ 8 % avec le nombre proposé.

Cette concordance apparaît bien meilleure d'ailleurs si, adoptant pour $\frac{a}{b}$ la valeur 105 que donne M. FOURNIER, on calcule à l'aide de la formule (6), le rapport $\frac{\nu}{\rho}$ pour l'aluminium à partir du rapport $\frac{\nu}{\rho}$ obtenu pour l'étain et inversement. Voici le résultat de ce calcul, les nombres en italique ont été évalués à partir de cette hypothèse :

$$\begin{array}{ccc} \text{Sn} & & \text{Al} \\ \hline 14,7 & & 11,18 \\ \rightarrow & & \leftarrow \\ 14,45 & & 11 \end{array}$$

II. — RAYONNEMENT DES CENDRES TOTALES

Nous avons réalisé sur les cendres du Tabac n° 2 des mesures d'absorption analogues en tous points à celles que nous venons d'exposer. Nous avons choisi le Tabac pour la raison déjà signalée, à savoir sa richesse présumée en rubidium.

1. — Absorption par des feuilles d'étain.

TABAC (cendres) — Etain.

Nombre de feuilles	Epaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{I_p}{I_0}$
1	0,0114	0,0332	0,0428	0,800
2	0,0221	0,0255	0,0407	0,744
3	0,0342	0,0254	0,0443	0,574
4	0,0456	0,0201	0,0439	0,457
6	0,0690	0,0140	0,0453	0,310
8	0,0914	0,0120	0,0432	0,277

TABEAU XXIII

Les résultats expérimentaux sont représentés graphiquement sur la figure ci-contre (Fig. 13).

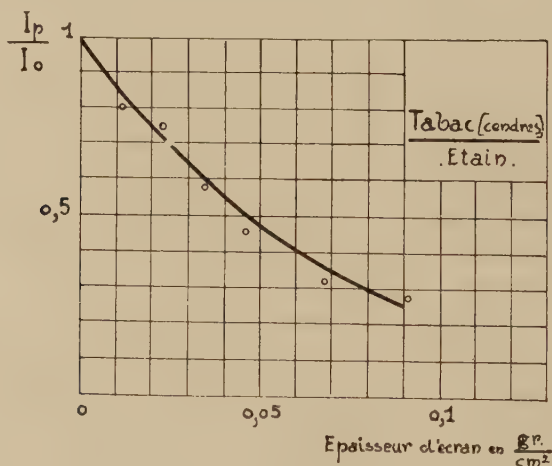


Fig. 13.

Pour faciliter la comparaison, nous avons reproduit la

courbe de la figure 11 relative à l'absorption par l'étain du rayonnement émis par le sulfate de potassium. On voit que les points expérimentaux obtenus avec les cendres de tabac viennent s'y grouper de façon très satisfaisante. L'absorption par l'étain confirme ainsi que le rayonnement des cendres est dû au potassium qu'elles renferment.

2. — Absorption par des feuilles d'aluminium.

TABAC (cendres). — Aluminium.

Nombre de feuilles	Epaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{I_p}{I_0}$
4	0,00945	0,0410	0,0428	0,95
8	0,0178	0,0388	0,0442	0,87
12	0,0281	0,0345	0,0464	0,74
16	0,0369	0,0318	0,0464	0,68
20	0,0457	0,0280	0,0461	0,60
40	0,0955	0,0134	0,0373	0,35

TABEAU XXIV

Pour représenter graphiquement ces résultats numériques, nous avons tracé en trait plein la courbe d'absorption par l'alu-

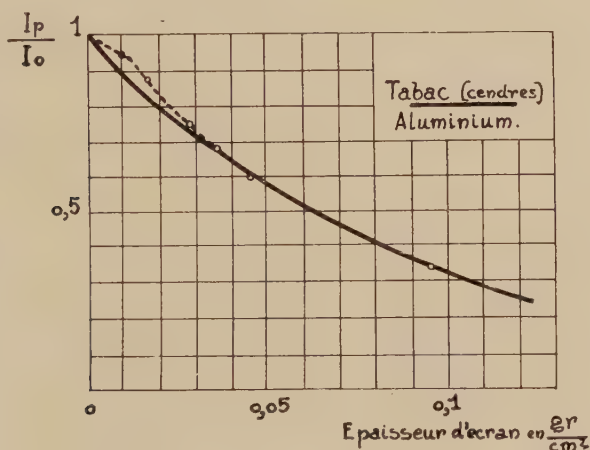


Fig. 14.

minium de la figure 11, relative au rayonnement du potassium.

Comme on le voit, les points expérimentaux viennent s'y placer très exactement dans la région des grandes épaisseurs d'écran. En ce qui concerne la partie initiale de la courbe au contraire, on constate qu'il existe de très légers écarts qui nous ont incité à réunir ces points par un tracé pointillé, guidés en cela par une observation analogue dans les différentes courbes d'absorption par la cellophane que nous verrons dans la suite.

Contrairement donc à ce que nous avons observé pour l'étain, la courbe serait alors formée de deux tronçons très inégaux. Nous nous sommes demandé à quoi tenait cette discontinuité, en particulier s'il était possible de l'attribuer à des erreurs expérimentales. Avant d'aborder cette discussion, voyons d'abord les résultats des mesures d'absorption par la cellophane qui vont nous conduire à des questions du même ordre.

3. — Absorption par des feuilles de cellophane.

TABAC. (cendres). — Cellophane.

Nombre de feuilles	Epaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{I_p}{I_0}$
3	0,0186	0,0390	0,0450	0,866
4	0,0248	0,0411	0,0490	0,817
5	0,0310	0,0353	0,0480	0,708
6	0,0372	0,0314	0,0465	0,675
10	0,0620	0,0231	0,0439	0,526
15	0,0930	0,0178	0,0439	0,400
20	0,124	0,0159	0,0472	0,336

TABEAU XXV

Sur ces données, voici le graphique que nous obtenons (fig. 15).

La courbe en trait plein reproduit celle de la figure 11, que nous a donnée l'étude de l'absorption du rayonnement du potassium par la cellophane. Comme précédemment avec l'aluminium, nous observons que les points représentatifs relatifs aux grandes épaisseurs d'écran se situent nettement sur cette courbe. Quant aux autres points, il paraît assez logique de les réunir par le trait

pointillé qui nous donne alors une courbe discontinue. Remarquons d'ailleurs que la discontinuité se produit ici pour une

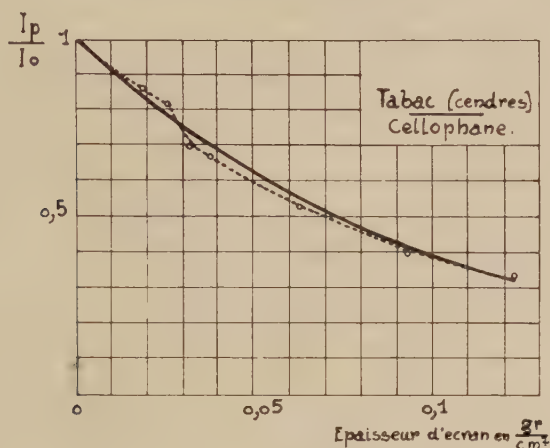


Fig 15.

épaisseur d'écran supérieure à celle qui caractérise la discontinuité de la courbe précédente relative à l'aluminium, substance plus absorbante que la cellophane.

Dans l'ensemble, cependant, les points expérimentaux s'éloignent peu de la courbe exponentielle en trait plein. Il s'agissait donc de préciser si l'existence du point de rebroussement ne pouvait pas s'expliquer par des erreurs dans les mesures. C'est pourquoi nous avons déterminé plusieurs fois l'ordonnée de ce point singulier.

Voici les résultats de trois lectures, sur 2 divisions de l'échelle :

Temps à vide t	Temps en présence des cendres		$\frac{I_p}{\frac{2}{t'} - \frac{2}{t}}$	$\frac{I_0}{\frac{2}{t''} - \frac{2}{t}}$	$\frac{I_p}{I_0}$
	avec écran t'	Sans écran t''			
69 ^m 12 ^{sec}	30 ^m 45 ^{sec}	26 ^m 40 ^{sec}	0,0361	0,0423	0,853
67 ^m 30 ^{sec}	31 ^m	27 ^m 30 ^{sec}	0,0349	0,0430	0,810
70 ^m	31 ^m 40 ^{sec}	27 ^m 50 ^{sec}	0,0345	0,0450	0,766

TARLEAU XXVI

Les nombres que nous obtenons pour les temps de parcours du fil sont vraiment d'une concordance très satisfaisante, surtout si l'on songe que les mesures ont été effectuées à quelques jours d'intervalle.

Malgré cela, les valeurs extrêmes du rapport $\frac{I_p}{I_0}$ présentent un écart supérieur à celui qui caractérise sur le graphique la position du point de rebroussement — que nous avons définie par la moyenne des nombres ci-dessus — par rapport à la position du point de la courbe en trait plein correspondant à la même épaisseur d'écran. Il en résulte qu'il est assez difficile en somme de fixer l'ordonnée de ce point singulier avec une précision suffisante pour qu'on soit en droit de dire qu'il y a bien une discontinuité dans la courbe.

Pourtant nous avons caractérisé cette même discontinuité dans la courbe d'absorption du rayonnement des cendres de Vigne Vierge par la cellophane (fig. 16). Pourtant aussi, comme nous allons le voir, l'absorption du rayonnement de l'extrait sec de la partie soluble des cendres de tabac nous a conduit au même résultat.

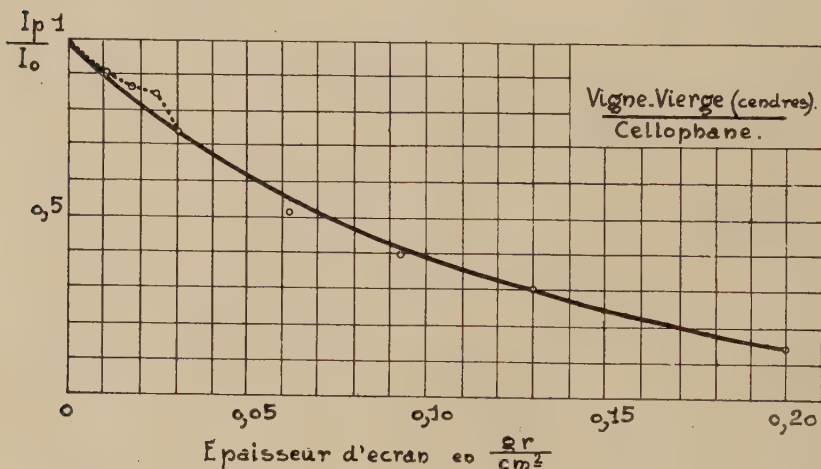


Fig. 16.

L'existence d'une courbe discontinue dans le cas de l'absorption par des écrans minces d'une substance peu absorbante paraît donc dans une certaine mesure devoir retenir l'attention. Et cela

nous conduit à penser que nous avons peut-être ainsi la manifestation de la présence du rubidium dans les cendres de Tabac et de Vigne Vierge. Nous reviendrons tout à l'heure sur cette question. Pour l'instant nous retiendrons que l'existence du rayonnement de potassium dans celui que les cendres sont capables d'émettre se trouve remarquablement confirmée par les mesures d'absorption par l'étain, l'aluminium et la cellophane.

Localisation du rayonnement des cendres dans l'extrait sec de la partie soluble.

Poursuivant nos investigations dans le but de déceler le rubidium et le radium à côté du potassium, nous avons eu l'idée de séparer dans les cendres totales la partie soluble qui contient les éléments alcalins de la partie insoluble dans laquelle doivent se trouver entraînées les traces de radium, ce procédé nous permettant d'ailleurs de concentrer encore les éléments actifs dans chaque fraction et par conséquent de rendre plus aisée la recherche.

Nous sommes donc partis de 30 gr. environ de cendres grises de Tabac n° 2, dont l'activité de saturation a été trouvée égale à 0,0293 (moyenne de plusieurs déterminations). Ces cendres ont été soigneusement lessivées en suivant la technique préliminaire au dosage du potassium que nous avons indiquée précédemment (1). Nous avons ainsi séparé d'une part 12 gr. 58 d'extrait sec de la partie soluble et, d'autre part, 15 gr. 33 de cendres blanches insolubles.

1° — Etude du rayonnement de l'extrait sec de la partie soluble.

Nous avons déterminé l'activité de la totalité de l'extrait sec dans les mêmes conditions expérimentales que la mesure de l'activité de l'échantillon des cendres totales (même surface d'étalement, couche épaisse de saturation). Voici quels ont été les résultats obtenus au cours des lectures effectuées sur 2 divisions de l'échelle :

(1) Voir page 86.

TABAC (Extrait sec de la partie soluble des cendres).

Temps à vide t	Temps en présence de l'extrait sec t'	Intensité d'ionisation	
		$\frac{2}{t'}$	$\frac{2}{t}$
50 m	18 m 20 sec	0,0687	
48 m	17 m 20 sec	0,0737	
45 m	18 m 30 sec	0,0677	
54 m	19 m	0,0656	

TABEAU XXVII

La moyenne des nombres qui représentent l'intensité du courant d'ionisation est 0,0689.

Le courant d'ionisation se trouve donc augmenté dans des proportions importantes. Il nous a paru que cette augmentation était due au fait que la teneur pour cent en potassium est plus grande dans la partie soluble que dans les cendres totales et cela dans le rapport des poids de substance mise en œuvre soit $30/12,58 = 2,3$.

Si donc, comme nous l'avons démontré, l'intensité du courant de saturation est proportionnelle à la concentration pour cent en potassium, le courant produit par l'extrait sec doit être 2,3 fois plus intense que celui que nous donnent les cendres totales, c'est-à-dire qu'il doit être égal à $0,0293 \times 2,3 = 0,0677$.

Or, nous trouvons ici expérimentalement que ce courant est représenté par le nombre 0,0689 en moyenne. La concordance est vraiment remarquable et nous pouvons conclure dès à présent que le rayonnement des cendres est totalement localisé dans la partie soluble des cendres.

Ce résultat étant acquis, il était tout indiqué d'analyser le rayonnement ainsi localisé; c'est ce que nous avons réalisé en l'absorbant par des écrans minces de cellophane. Les résultats de cette étude sont inscrits dans le tableau 28.

Sur le graphique ci-contre nous avons reproduit en trait plein la courbe d'absorption par la cellophane de la figure 11 que nous a donnée l'étude du rayonnement du sulfate de potassium. Il est tout à fait remarquable que, comme précédemment pour les cendres totales de Tabac et de Vigne Vierge, cette courbe

TABAC (extrait sec de la partie soluble des cendres). — Cellophane.

Nombre de feuilles	Epaisseur d'écran p gr./cm ²	I_p	I_0	$\frac{I_p}{I_0}$
2	0,0124	0,0603	0,0678	0,890
3	0,0186	0,0620	0,0716	0,865
4	0,0248	0,0552	0,0677	0,815
6	0,0372	0,0466	0,0671	0,694
10	0,0620	0,0360	0,0663	0,543
20	0,124	0,0207	0,0666	0,310

TABEAU XXVIII

permette de représenter exactement les résultats des mesures relatives à l'extrait sec de la partie soluble dans le domaine des grandes épaisseurs d'écran et qu'à son origine au contraire elle s'écarte des points expérimentaux d'une manière tout à fait analogue.

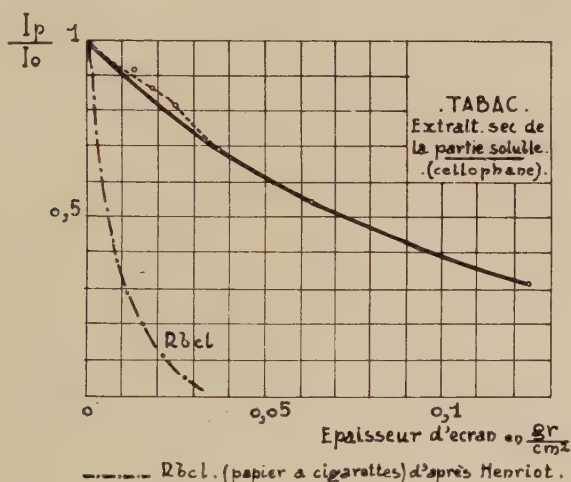


Fig 17.

Nous avons porté ici encore toute notre attention sur la position de ces points singuliers. C'est ainsi que nous avons déterminé les ordonnées des points relatifs à 2 et à 4 feuilles d'écran absorbant à l'aide des résultats suivants :

	<u>I_p</u>	<u>I_0</u>	<u>I_p / I_0</u>
2 feuilles	0,0583	0,0638	0,913
—	0,0592	0,0681	0,870
—	0,0635	0,0716	0,887
4 feuilles	0,0583	0,0716	0,814
—	0,0522	0,0638	0,817

Les valeurs moyennes des nombres obtenus pour exprimer le rapport I_p/I_0 nous ont permis de tracer avec quelque précision la partie pointillée du graphique ci-dessus.

En admettant donc que cette partie de la courbe n'est pas le fait d'erreurs dans les mesures, quelle peut en être l'interprétation? Ne serait-elle pas dûe, comme nous l'avons suggéré précédemment, à la présence du rayonnement du rubidium dans le rayonnement global que nous étudions? L'allure de la courbe d'absorption du rayonnement du chlorure de rubidium par le papier à cigarettes que M. HENRIOT a tracée (52) et que nous avons reproduite en trait ponctué sur la figure pourrait dans une certaine mesure expliquer très probablement l'anomalie de la courbe que nous obtenons.

Mais avant de traduire numériquement ces hypothèses par le calcul, nous avons eu l'idée de les soumettre à un contrôle expérimental dont voici l'idée directrice.

Nous avons étudié l'absorption par la cellophane du rayonnement émis par un échantillon de sulfate de potassium et de chlorure de rubidium mélangés de telle sorte que chacun des éléments actifs s'y trouve présent sensiblement dans les proportions où on peut les rencontrer dans les cendres végétales. Prenant alors pour base, en ce qui concerne le rubidium, les résultats de GRANDEAU relatifs aux salins de betterave (1 gr. 8 Rb Cl par kg.) et, pour ce qui est du potassium, ceux que nous avons déduits des dosages effectués sur les cendres de Tabac et de Vigne Vierge, nous avons été conduit à faire les essais d'absorption sur un mélange de 18 gr. 87 de sulfate de potassium et de 0 gr. 072 de chlorure de rubidium. Simultanément nous avons réalisé des mesures analogues sur un échantillon de 18 gr. 87 de sulfate de potassium exempt de sel de rubidium, dans l'espoir d'observer s'il existait une différence entre la courbe exponentielle du sel de

potassium et la courbe présumée discontinue relative au mélange des deux sels. Durant ces essais, nous avons pris la précaution d'ignorer sur quel échantillon était effectuée la mesure, le mélange étudié ayant été préparé à notre insu.

Dans ces conditions, il nous a été impossible de discerner par leurs courbes d'absorption les deux échantillons l'un de l'autre.

Nous ne nous croyons donc pas autorisés, en ce qui concerne la présence du rubidium dans les cendres, pour conclure dans un sens ou dans l'autre. La question reste pour l'instant en suspens; nous nous proposons de la reprendre sur des bases nouvelles.

2° — *Examen de la partie insoluble des cendres.*

Nous avons complété les renseignements précédents concernant la localisation du rayonnement des cendres totales dans l'extrait sec de leur partie soluble par l'examen de leur fraction insoluble. Les essais effectués sur les 15 gr. 33 de cendres blanches que nous avons précédemment séparées ne nous ont pas permis de déceler le rayonnement des traces de radium qu'elles doivent contenir (environ 15.10^{-12} gr. si l'on tient compte des indications données par MM. LEPAPE et TRANNOY (1)).

Nous avons également étudié dans ce sens un échantillon plus important de cendres blanches que nous avons extraites d'un certain nombre de végétaux divers dans lesquels antérieurement nous avons eu l'occasion de doser le potassium. Aucun résultat probant n'a pu être déduit de ces essais.

Ainsi donc malgré leur concentration plus élevée en radium, les cendres blanches insolubles, pas plus que les cendres totales, ne manifestent à l'électromètre que nous avons utilisé une radio-activité susceptible d'être attribuée au radium.

La conclusion générale qui paraît s'imposer c'est que le faible rayonnement des cendres végétales que nous avons mis en évidence de façon absolument certaine est, pour l'instant, imputable au seul élément potassium.

(1) Voir p. 46.

II. — RAYONNEMENT DES VÉGÉTAUX A L'ÉTAT SEC

En même temps que l'étude du rayonnement des cendres végétales nous avons poursuivi l'examen des tissus végétaux à l'état sec. Egalemeut ici, il nous a été donné d'observer l'émission d'un très faible rayonnement ionisant qui très certainement doit être attribué au potassium présent; mais comme la teneur de la matière sèche en cet élément est de l'ordre de quelques pour cent seulement, encore plus faible que dans les cendres, les difficultés expérimentales sont par cela même beaucoup plus grandes. Nous avons atteint l'extrême limite de la sensibilité de l'électromètre; aussi avons-nous subi de nombreux échecs avant d'obtenir les résultats rigoureusement certains que nous allons exposer.

Au début de nos essais sur la matière sèche, nous avons utilisé des feuilles entières de Vigne Vierge fortement comprimées sous la forme d'un disque épais de diamètre égal à celui de l'ouverture de la chambre d'ionisation que nous avons maintenue fermée comme précédemment par le mince écran de cellophane. Dans ces conditions les indications de l'électromètre n'étaient pas constantes.

Nous avons été conduit, en définitive, à utiliser la matière sèche à l'état de poudre très fine tassée sur toute la surface disponible, environ 40 cm², en un bloc compact de grande épaisseur. Cette technique nous a permis de réaliser des couches ionisantes « de saturation » très homogènes, dont l'activité s'est manifestée de façon absolument permanente.

Voici les résultats que nous avons obtenus sur la poudre sèche de Tabac n° 2, les lectures étant effectuées sur une division de l'échelle du micromètre :

Temps à vide	Temps en présence de la matière sèche	Ecart des temps	Activités
t	t'	$t - t'$	$\frac{1}{t'} - \frac{1}{t}$
28 ^m	22 ^m 15 ^{sec}	5 ^m 45 ^{sec}	0,00922
31 ^m	24 ^m	7 ^m	0,00940
35 ^m	27 ^m 8 ^{sec}	7 ^m 52 ^{sec}	0,00900
36 ^m	28 ^m	8 ^m	0,00793
40 ^m	28 ^m 24 ^{sec}	11 ^m 36 ^{sec}	0,01000
40 ^m	29 ^m 24 ^{sec}	10 ^m 36 ^{sec}	0,00901
40 ^m	29 ^m 30 ^{sec}	10 ^m 30 ^{sec}	0,00900
41 ^m	29 ^m 11 ^{sec}	11 ^m 49 ^{sec}	0,00960
42 ^m	30 ^m	12 ^m	0,00910
42 ^m	30 ^m 30 ^{sec}	11 ^m 30 ^{sec}	0,00900
42 ^m	30 ^m 30 ^{sec}	11 ^m 30 ^{sec}	0,00900
42 ^m	31 ^m 36 ^{sec}	10 ^m 24 ^{sec}	0,00783
46 ^m	31 ^m	15 ^m	0,01000
52 ^m	35 ^m 30 ^{sec}	16 ^m 30 ^{sec}	0,00972
52 ^m	36 ^m 30 ^{sec}	15 ^m 30 ^{sec}	0,00816
57 ^m	35 ^m	22 ^m	0,01100
Valeur moyenne des 16 déterminations :			0,009

TABLEAU XXIX

Nous avons tenu à réaliser sur cet échantillon un très grand nombre de mesures dans l'intention de nous rendre compte de la constance des indications de l'électromètre vis-à-vis d'activités aussi faibles.

Comme on le voit, les nombres obtenus dans des conditions où le temps de parcours du fil par division a varié de 28 minutes à 57 minutes sont d'une concordance très satisfaisante, surtout si l'on tient compte de la difficulté du problème.

A la suite de ces résultats constants, il ne fait donc aucun doute que le Tabac à l'état sec émet un faible rayonnement ionisant.

Que ce résultat puisse être étendu à la matière végétale en général, nous avons tenu à nous en rendre compte par l'examen d'autres végétaux. Notre choix s'est porté tout à fait par hasard sur des feuilles d'Epinaud (*Spin. ol.* L.) dont nous avons fait l'acquisition à l'état frais et que nous avons desséchées avant de

les pulvériser, et aussi sur des tiges en fleurs de Colza (*Brass. nap. var. oléif. D. C.*) et sur des tiges et feuilles de Panais (*Past. silv. MILL*) échantillons dans lesquels M. G. BERTRAND et Mme M. ROSENBLATT avaient antérieurement dosé le potassium et le sodium (14).

Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

Substance ionisante	Temps à vide t	Temps en présence de la matière sèche t'	Ecart des temps $t - t'$	Activités de saturation I_{∞}
				$\frac{1}{t'} - \frac{1}{t}$
Épinard	52 ^m	37 ^m	15 ^m	0,00778
	50 ^m	37 ^m	13 ^m	0,00702
	45 ^m	32 ^m 30 ^{sec}	12 ^m 30 ^{sec}	0,00856
	50 ^m	36 ^m	14 ^m	0,00777
	Valeur moyenne.			0,00778
Panais	42 ^m 30 ^{sec}	32 ^m	10 ^m 30 ^{sec}	0,00772
	40 ^m	30 ^m	10 ^m	0,00833
	Valeur moyenne.....			0,008
Colza	50 ^m	38 ^m	12 ^m	0,00631
	41 ^m	34 ^m	7 ^m	0,00502
	42 ^m	33 ^m 15 ^{sec}	8 ^m 45 ^{sec}	0,00626
	52 ^m	40 ^m	12 ^m	0,00576
	Valeur moyenne.....			0,00584

TABLEAU XXX

Ainsi donc l'émission d'un rayonnement par les tissus végétaux à l'état sec, que nous avons enregistrée de façon indubitable sur le Tabac, paraît être absolument générale. Comme on le voit, les écarts de temps de chute du fil que nous avons observés sur une division de l'échelle sont très nets et les nombres qui traduisent les activités sont vraiment d'une concordance satisfaisante. Enfin, il est important de le remarquer, pour réaliser les conditions les meilleures dans ce domaine, il est tout

indiqué de donner à l'électromètre un mouvement propre extrêmement lent de l'ordre de 40 à 50 minutes par division de l'échelle. Mais, et nous ne saurions trop insister là-dessus, même dans ces conditions idéales les mesures sont extrêmement délicates.

C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous n'avons pas tenté de réaliser sur la matière sèche des essais analogues à ceux que nous avons effectués avec succès sur les cendres : absorption du rayonnement par la substance elle-même, absorption par des écrans minces.

Nous nous sommes placés ici, tout de suite, dans les conditions de la saturation avec des couches épaisses de substances et cela nous a permis de contrôler d'ailleurs que le potassium est bien responsable du rayonnement détecté.

C'est qu'en effet l'intensité du courant de saturation est, comme dans les cendres, très sensiblement proportionnelle à la teneur % de la matière sèche en potassium. Cela résulte de l'examen du tableau suivant dans lequel, à côté des valeurs moyennes de I_{∞} du tableau 30, nous avons inscrit les concentrations en élément actif, rapportées à la matière sèche, qui ont été déterminées par M. G. BERTRAND et Mme M. ROSENBLATT (14) dans Colza et Panais, en 1928, et tout récemment, en cours de rédaction, dans le Tabac par Mme ROSENBLATT (1).

Substance ionisante	Intensité de saturation I_{∞}	K pr. 100 matière sèche	$\frac{I_{\infty} \times 10^3}{K \%}$
Colza	0,00584	4,87	1,2
Panais	0,008	5,64	1,4
Tabac	0,009	6,48	1,3

TABLEAU XXXI

Ce qui est remarquable c'est que les valeurs que nous obtenons pour le coefficient de proportionnalité (4^e colonne du tableau) sont tout à fait analogues à celles que nous ont données les cendres totales (tableau 14 de la page 89).

(1) Voir page 89, en note.

Avant de terminer cet exposé relatif à la matière sèche, nous tenons à préciser qu'à partir de l'instant où nous avons mis au point les conditions expérimentales à réaliser dans les mesures, nous n'avons enregistré aucun insuccès. Aussi croyons-nous pouvoir affirmer que si les teneurs en potassium sont au moins égales à 4 ou à 5 % du poids de la substance étudiée, on doit pouvoir mettre en évidence de façon absolument sûre l'ionisation produite par un tissu végétal quel qu'il soit sous l'épaisseur de saturation.

Ainsi donc se trouve précisée la teneur minimum en potassium que l'on est dans l'obligation d'exiger pour la recherche d'une radioactivité propre aux êtres vivants, lorsqu'on utilise la méthode électrométrique. Si par conséquent il ne nous a jamais été possible de la déceler avec l'électromètre Pohl sur des tissus végétaux à l'état frais c'est que leur teneur en potassium est trop faible; la plupart du temps cette teneur est en effet inférieure à 1 % (14, 15).

CHAPITRE II

RECHERCHES EFFECTUÉES AU TUBE-COMPTEUR

Le tube-compteur et la radioactivité du potassium.

Le tube-compteur d'électrons, modification tout à fait heureuse du remarquable compteur à pointe de GEIGER, a été imaginé sous sa forme actuelle, en 1928, par H. GEIGER lui-même en collaboration avec W. MULLER (41). Tout aussitôt son emploi s'est révélé du plus haut intérêt dans la détection de rayonnements ionisants les plus divers et tout particulièrement de ceux que le potassium est capable d'émettre.

Déjà à l'occasion de leur découverte, GEIGER et MULLER, dans l'intention de préciser sa sensibilité, montrent que ce tube est capable de détecter le rayonnement β d'un petit échantillon de chlorure de potassium réparti sur une surface de 15 cm² 7. Dans la suite, W. MUHLHOFF (72) et D. BOCCIARELLI (17) l'utilisent pour contrôler dans le rayonnement du potassium la coexistence d'un très faible rayonnement γ signalé par W. KOLHÖRSTER (54). Egalemeut G. v. HEVESY, W. SEITH et M. PAHL (52 *bis*) peuvent, grâce à lui, montrer que le chlorure de potassium obtenu à partir d'un échantillon de potassium, enrichi en son isotope de masse atomique 41 par une distillation fractionnée idéale, est très légèrement plus actif que le chlorure de potassium ordinaire (1).

Ces exemples montrent les services précieux qu'un tel instrument peut rendre dans la recherche des faibles activités analogues à celles du potassium. Aussi avons-nous pensé qu'il nous serait possible par l'emploi d'un tube-compteur de contrôler et

(1) Voir page 66, en note.

de compléter utilement dans un domaine de plus grande sensibilité les indications que la méthode électrométrique nous a fournies sur la radioactivité des tissus végétaux.

Sa technique.

On connaît le principe de cet appareil : un tube métallique (fig. 18) rempli d'un gaz sous pression réduite (environ 5 cm. de mercure) est traversé suivant son axe par un fil métallique F très mince, de l'ordre de 0,1 mm. de diamètre. On établit entre le fil et la paroi du tube une différence de potentiel élevée (1.200 volts environ) telle qu'on se trouve au voisinage de la tension critique pour laquelle une décharge est capable de s'amorcer par une effluve entre fil et paroi. Chaque fois qu'un rayonnement corpusculaire apparaît dans le tube, l'ionisation du gaz qui en

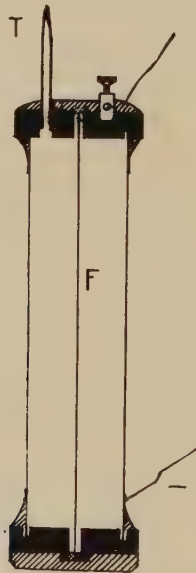


Fig. 18

résulte déclanche la décharge. Le courant instantané qui est ainsi produit est amplifié par un dispositif à lampes, ce qui permet d'enregistrer « l'impulsion » qui prend naissance sur un compteur de téléphone ordinaire.

Cet appareil est d'une très grande sensibilité, mais il n'est qu'un simple compteur qui enregistre automatiquement le passage d'un rayonnement sans indiquer sa nature.

D'autre part sa technique est délicate : on comprend aisément que dans l'intervalle des passages des corpuscules ionisants l'état d'instabilité du tube facilite la production de ce que par analogie avec le mouvement propre du fil de l'électromètre Pohl nous appellerons des impulsions propres. Ces impulsions propres, d'origines multiples, introduisent ici encore un terme correctif notable vis-à-vis des faibles activités que l'on mesure, et par leurs fluctuations elles rendent mal aisée la recherche.

Remarquons enfin que, pour l'instant, la technique des tubes-compteurs n'est somme toute en usage que dans un petit nombre de laboratoires spécialisés, et cette circonstance laisse tout son intérêt, nous semble-t-il, aux recherches poursuivies avec un dispositif aussi simple que l'électromètre Pohl que nous venons de relater.

En ce qui nous concerne, nous l'avons déjà souligné, cet état de choses nous a mis dans l'obligation de poursuivre notre étude au Laboratoire de Physique des Rayons X de Mr. M. de BROGLIE, où il nous a été donné d'utiliser le dispositif d'ensemble que M. L. LEPRINCE-RINGUET a mis au point et que, en collaboration avec M. P. AUGER il a utilisé pour rechercher l'influence que les variations de latitude pouvaient exercer sur l'intensité du rayonnement cosmique (63).

Nous avons eu l'occasion d'équiper ce dispositif avec des tubes-compteurs de formes variées. Ceux qui nous ont donné des résultats décisifs étaient faits d'une feuille mince d'aluminium de 0 mm. 009 environ d'épaisseur, enroulée en forme de cylindre. Comme l'indique la figure 18, ce cylindre vient s'insérer à ses deux extrémités sur deux bouchons d'ébonite sur lesquels il se trouve étroitement fixé par des joints hermétiques en cire molle. On réalise ainsi une chambre d'observation étanche dans laquelle il est possible par l'intermédiaire de la tubulure T d'introduire un gaz approprié sous pression réduite.

Ces tubes à paroi mince, les premiers de ce type qui aient été mis en service au laboratoire de Mr. M. de BROGLIE, avaient une longueur utile d'environ 5 cm. et un diamètre de l'ordre de 2 cm.

Sur ce modèle, deux sortes de tubes ont été construits :

Tube n° 1 — fil axial en aluminium,
gaz de remplissage : air.

Tube n° 2 — fil axial en tungstène,
gaz de remplissage : argon.

Au cours de nos mesures, le tube-compteur était vertical dans la position que représente la figure 18. Les substances examinées (sulfate de potassium, cendres totales, matière sèche en poudre, cendres blanches) étaient, soit enfermées sous l'épaisseur de saturation dans des petits récipients prismatiques ($5 \times 3,2 \times 1,5 = 24 \text{ cm}^3$) dont une paroi, celle qui était disposée verticalement devant le tube-compteur, était faite d'une lamelle de cellophane ($e = 0,02 \text{ mm.}$), soit répandues par pulvérisation sur des lamelles rectangulaires d'aluminium en couche très mince. Dans les deux cas, la surface d'irradiation était $5 \times 3,2 = 16 \text{ cm}^2$ environ par boîte ou par lamelle.

Avant d'aborder l'exposé méthodique des résultats, rappelons que si N désigne le nombre total d'impulsions lues sur l'appareil enregistreur au cours d'une mesure, l'erreur statistique moyenne admise est égale à $\sqrt{N}$, soit $\frac{100}{\sqrt{N}} \%$.

I. - RAYONNEMENT DES CENDRES TOTALES

Nous avons étudié un échantillon de cendres totales de Vigne Vierge sous l'épaisseur de saturation avec le tube-compteur n° 1. Dans un grand nombre de mesures préliminaires d'ordre qualitatif nous avons observé que, de façon très constante, le tube-compteur décelait l'émission d'un rayonnement ionisant par ces cendres. Nous ne croyons pas nécessaire d'en donner le détail; nous nous contenterons d'indiquer ici les résultats quantitatifs que nous avons obtenus dans ce domaine.

Dans l'intention de voir si le potassium était bien responsable de cette activité, nous avons comparé le rayonnement de saturation des cendres à celui qu'émettait, dans les mêmes conditions, un échantillon de sulfate de potassium pris comme étalon. Les mesures étaient faites dans l'ordre suivant : à vide, cendres totales, à vide, étalon, à vide, cendres totales, à vide.

Désignons le nombre d'impulsions enregistrées par minute,

1°) en présence des Cendres par C

2°) en présence de l'Étalon par E

3°) sous l'action du rayonnement Restant, à vide — c'est-à-dire le nombre d'impulsions propres — par R .

Les expressions $C-R$ et $E-R$ représentent respectivement les nombres d'impulsions dues aux cendres et à l'étalon, après la correction nécessaire pour tenir compte des impulsions propres de l'appareil au cours des mesures. Sachant alors que la teneur en potassium du sulfate est de 44,87 %, la teneur pour cent des cendres en cet élément nous sera donnée par l'expression $\frac{C-R}{E-R} \times 44,87$, analogue à celle que W. VOGT (107) utilise pour déterminer la teneur en radium d'un échantillon de roche, par la méthode du tube-compteur.

Voici les résultats détaillés que nous avons enregistrés sur le même échantillon de cendres totales au cours de deux essais :

1^{er} essai

Durée d'enregistrement en minutes	Cendres totales	A vide	Etalon
2.....	.....	53	
2.....	122		
2.....	.....	56	
2.....	.....	.....	194
2.....	.....	49	
2.....	120		
2.....	.....	64	
Nombre total d'impulsions :	242 ± 15	222 ± 15	194 ± 14
par minute :	C = 60,5	R = 27,75	E = 97

De ces nombres nous déduisons la teneur des cendres en potassium, soit :

$$\frac{C - R}{E - R} \times 44,87 = 21,22 \text{ } \%$$

2^e essai

Durée d'enregistrement en minutes	Cendres totales	A vide	Etalon
5.....	.....	209	
5.....	363		
5.....	.....	215	
5.....	.....	.....	489
5.....	.....	210	
5.....	332		
Nombre total d'impulsions :	695 ± 26	634 ± 25	489 ± 22
par minute :	C = 69,5	R = 42,2	E = 98

d'où :

$$\frac{C - R}{E - R} \times 44,87 = 22 \text{ } \%$$

Du point de vue purement qualitatif, ces résultats sont extrê-

mement probants : il est hors de doute que les cendres totales émettent un rayonnement.

En ce qui concerne la teneur pour cent en potassium, les valeurs obtenues au cours de ces deux mesures sont remarquablement concordantes; elles s'écartent d'ailleurs assez peu de la concentration en cet élément déterminée par voie chimique qui est, nous l'avons vu (1), de 23,52 % dans les cendres de Vigne Vierge.

Loi de surface.

Nous avons retrouvé cette loi de la façon suivante. Utilisant les cendres totales de Tabac n° 2 réparties en couche mince sur une lamelle d'aluminium, nous avons déterminé le nombre d'impulsions relatives à une lamelle (surface 16 cm²), puis à 2 lamelles identiques (surface 32 cm²). Dans les deux cas, l'éta-
lon était constitué par une couche mince de sulfate de potassium réparti de la même manière sur la surface de 16 cm².

Nous avons tenu à effectuer cet essai dans les conditions de la « non saturation » dans l'intention de contrôler la loi de surface sous la forme générale que nous lui avons donnée (page 82 et sq.). Bien entendu alors il ne peut être question de faire intervenir la teneur % en potassium puisque nous n'opérons pas sur des couches épaisses.

Surface en cm ²	Nombre d'impulsions					$\frac{C - R}{E - R}$
	en 4 minutes		par minute			
	Cendres	A vide	Cendres	A vide	Etalon	
16	181	134	45, ₉₅	33, ₅	108	0,157
32	237	140	59, ₂₅	35		0,33

TABLEAU XXXII

Comme on le voit, l'expression $\frac{C - R}{E - R}$ qui représente l'activité réelle des cendres totales par rapport à l'activité de l'éta-
lon est très sensiblement proportionnelle à la surface.

(1) Tableau 14, page 89.

Absence du rayonnement γ dans le rayonnement des cendres totales.

Puisque le rayonnement des cendres végétales est imputable au potassium et que d'autre part ces cendres contiennent des traces de radium, il était naturel d'y rechercher la présence d'un rayonnement γ . Nous avons déjà tenté maintes fois cette recherche avec l'électromètre, mais toujours sans succès. C'est pourquoi nous avons repris cette question avec le tube-compteur.

Nous avons absorbé le rayonnement des cendres totales, réparties sous l'épaisseur de saturation sur une surface de 32 cm², par un écran en fer d'épaisseur 1 mm. 5 environ. Comme on peut s'en rendre compte par l'examen du tableau suivant, aucune différence ne s'est manifestée entre le nombre d'impulsions propres du tube-compteur entouré de cet écran absorbant et le nombre d'impulsions enregistrées lorsqu'on dispose devant l'écran l'échantillon des cendres totales.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	A vide	En présence des cendres
5.....	48	49
5.....	.....	
5.....	49	39
5.....	.....	
5.....	39	

TABEAU XXXIII

Le résultat est absolument net : tout le rayonnement des cendres totales est absorbé.

Or d'après W. MUHLHOFF (72) qui l'a étudié avec un tube-compteur, le rayonnement γ du potassium est encore sensible après avoir traversé 5 cm. de plomb. Il est vrai que dans ces essais l'auteur utilise comme nous l'avons déjà signalé (1) plus de 10 kilogrammes de chlorure de potassium. C'est ce qui nous a permis de conclure, on s'en souvient (1) que, si l'on met en jeu de petites quantités de potassium, son rayonnement γ n'est pas

(1) Voir page 2.

décelable (1). Certes ce résultat est en contradiction avec celui que D. BOCCIARELLI (17) a signalé en 1933, à savoir qu'avec un échantillon de chlorure de potassium d'épaisseur 0,16 gr./cm² le tube-compteur permet de détecter dans des conditions spéciales un rayonnement très pénétrant encore sensible à travers 3 mm. environ d'aluminium. L'auteur pense qu'il se trouve en présence d'un rayonnement γ dans la proportion d'à peine 1,08 % du rayonnement total du potassium.

Sans entrer dans une discussion approfondie rappelons simplement que G. ORBAN (81), dans le cas des couches minces de sel de potassium n'a pas réussi à rendre visible un tel rayonnement dans la chambre à détente de Wilson.

Egalement donc la présence des traces de radium dans les cendres totales n'est pas décelable par son rayonnement γ , et ceci confirme ce que nous avons déduit de notre étude à l'électromètre (2). Par contre, comme nous allons le voir, cette présence est rendue sensible par l'examen de la partie insoluble des cendres où le radium se trouve fortement concentré.

(1) Très probablement parce que le nombre d'impulsions qui lui sont dûes est trop petit eu égard aux fluctuations possibles du nombre total d'impulsions enregistrées.

(2) Voir page 92.

II. — RAYONNEMENT DES VÉGÉTAUX A L'ÉTAT SEC

On se rappelle (1) que nous avons réussi à le mettre en évidence à l'électromètre et que nous étions ici à la limite de sa sensibilité. Les mesures que nous avons effectuées avec le tube-compteur confirment rigoureusement l'existence de ce rayonnement.

Nos essais ont porté sur un échantillon de poudre sèche de Tabac n° 2, comprimée sous l'épaisseur de saturation. Dans l'intention d'exercer un contrôle sur les résultats, nous avons essayé de vérifier si la loi de surface était satisfaite. A cet effet nous avons comparé les activités du Tabac sec réparti sur les deux surfaces de 16 cm² et de 32 cm² à celle d'un échantillon de cendres totales de ce même Tabac pris comme étalon.

Durée d'enregistrement en minutes	Etalon	A vide	Matière sèche	
			16 cm ²	32 cm ²
5	272	126	465	218
5	287	141	188	252
5	287	106	179	
5		111	197	
5		159		
Nombre total d'impulsions :	846 ± 29	643 ± 25	729 ± 27	470 ± 22
par minute :	E = 56, ₄	R = 25, ₇	C = 36, ₄₅	C' = 47

TABLEAU XXXIV

Formons les expressions $\frac{C-R}{E-R}$ pour chaque surface, nous obtenons :

$$\text{Surface } 16 \text{ cm}^2 : \frac{C-R}{E-R} = \frac{36,_{45} - 25,_{7}}{56,_{4} - 25,_{7}} = 0,35$$

$$\text{Surface } 32 \text{ cm}^2 : \frac{C'-R}{E-R} = \frac{47 - 25,_{7}}{56,_{4} - 25,_{7}} = 0,69_3$$

(1) Voir p. 114.

Comme on le voit les deux essais sont tout à fait probants quant à l'existence d'un rayonnement ionisant produit par la matière sèche du Tabac, et cette conclusion se trouve renforcée par le fait que l'activité est très nettement proportionnelle à la surface d'irradiation.

III. — RAYONNEMENT DE LA PARTIE INSOLUBLE DES CENDRES

Au cours de nos essais à l'électromètre, on s'en souvient (1), il ne nous avait pas été possible de déceler l'existence de ce rayonnement. Il était donc intéressant de reprendre la question avec le tube-compteur.

Nous avons utilisé l'échantillon de cendres blanches provenant de végétaux divers que nous avons précédemment étudié au cours des recherches que nous venons de rappeler. La substance, qui se présente sous l'aspect d'une poudre impalpable, était contenue sous l'épaisseur de 1,5 cm. dans les petits récipients prismatiques dont il a été question ci-dessus. Deux de ces récipients étaient placés de part et d'autre du tube-compteur (surface d'irradiation $2 \times 16 = 32 \text{ cm}^2$).

Dans ces conditions il a été effectué 3 essais que nous allons rapporter.

1^{er} essai. — Tube-compteur n° 1.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	à vide	avec les cendres
4.....	130	
4.....		171
4.....	141	
4.....		163
4.....	134	
4.....		173
4.....	130	
4.....		178
4.....	132	
4.....		140
4.....	127	
4.....		140
Nombre d'impulsions	en 24 minutes : par minute :	791 $\pm$ 28 R = 33 967 $\pm$ 31 C = 40,3

TABEAU XXXV

(1) Voir p. 113.

Pour fixer les idées, rappelons que pour un nombre d'impulsions propres presque identique les mesures effectuées sur un échantillon de sulfate de potassium réparti en couche très mince sur une lamelle d'aluminium (surface : 16 cm²) pris comme étalon ont donné 108 impulsions par minute (1).

2^e essai. — Tube-compteur n° 1.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	à vide	avec les cendres
5.....	245	
5.....		282
5.....	232	
5.....		257
5.....	223	
5.....		266
5.....	204	
5.....		240
5.....	203	
5.....		250
5.....	204	
5.....		254
5.....	206	
5.....		274
5.....	187	
5.....		244
Nombre d'impulsions { en 40 minutes :	1704 ± 41	2067 ± 45
{ par minute :	42,6	50,2

TABLEAU XXXVI

On remarque la netteté du résultat en même temps que la très grande régularité des indications du tube-compteur. Cette régularité ressort d'ailleurs de façon frappante du tableau ci-dessous dans lequel nous indiquons le nombre d'impulsions enregistrées de minute en minute au cours d'une mesure (à vide et en présence des cendres insolubles).

(1) Tableau 32, page 125.

Durée d'enregistrement	A vide	Cendres
1 m.	52	57
1 m.	50	58
1 m.	48	58
1 m.	46	55
1 m.	49	54
Total pour 5 minutes	245	282

TABLEAU XXXVII

3^e essai. — Tube-compteur n° 2

Avec ce tube il nous a été possible de réaliser des mesures dans des conditions telles que par minute le nombre d'impulsions propres était plus faible qu'avec le tube compteur n° 1.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	à vide	avec les cendres
5.....	87	
5.....		130
5.....	80	
5.....		128
5.....	96	
5.....		136
5.....	86	
5.....		127
5.....	85	
5.....		137
Nombre d'impulsions { en 25 minutes	434 ± 20	658 ± 25
par minute...	17,4	26,2

TABLEAU XXXVIII

Le résultat ici encore est tout à fait probant. Les cendres insolubles des végétaux sont donc capables d'émettre un faible rayonnement ionisant.

Pour fixer les idées quant à sa nature, nous avons essayé de préciser son pouvoir absorbant. A cet effet, à la suite de ce dernier essai, nous avons déterminé le nombre d'impulsions pro-

duites par le rayonnement des cendres à travers l'écran en fer qui nous a servi précédemment ⁽¹⁾. Pendant l'enregistrement des impulsions propres nous avons laissé l'écran en fer devant le tube-compteur.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	A vide	Cendres + Ecran
5.....	90	
5.....		137
5.....	74	
5.....		107
Nombre d'impulsions { en 10 minutes.	164 ± 13	244 ± 15
	16 _{,4}	24 _{,4}

TAB1EAU XXXIX

Il est visible que le rayonnement des cendres insolubles est encore appréciable après la traversée d'une lame de fer d'environ 1,5 mm. d'épaisseur. En l'absence d'écran le nombre d'impulsions dues aux cendres était $26,2 - 17,1 = 8,8$ par minute. Nous voyons qu'après interposition du filtre absorbant il est de $24,1 - 16,1 = 8$ par minute. L'absorption dans ces conditions est donc très peu sensible et ceci nous autorise à conclure que le rayonnement pénétrant des cendres insolubles est très probablement dû à la présence des traces de radium qu'elles doivent contenir.

Nous n'avons pas poussé l'identification plus loin. Mais, dès à présent, il nous paraît possible de doser le radium dans les végétaux par l'étude du rayonnement de leurs cendres blanches au tube-compteur, comme cela a été fait pour le dosage du radium dans les roches par W. VOGT (107).

Avant de terminer cet exposé précisons que notre but en ce qui concerne l'existence du rayonnement du radium dans les cendres végétales est atteint. On s'en souvient, nous avons émis l'hypothèse ⁽²⁾ que dans les cendres *totales* la présence du radium ne pouvait se manifester à l'électromètre (à côté du potassium)

(2) Voir p. 126.

(3) Voir p. 92.

à cause de leur teneur trop faible en cet élément. Ce résultat s'est trouvé confirmé par l'étude du rayonnement des cendres totales avec le tube-compteur (1). Il nous est possible actuellement d'en préciser la raison : en faisant passer tout le radium dans les cendres blanches par le lessivage des cendres totales, il nous est apparu que l'on double ainsi sa concentration (2) ; si donc, avec les cendres totales le rayonnement γ du radium n'est pas appréciable, c'est que le nombre d'impulsions qu'il produit, environ 4 par minute d'après le 3^e essai précédent, est de l'ordre de grandeur des fluctuations que l'on enregistre dans le nombre total des impulsions dues au potassium présent (3).

(1) Voir p. 126.

(2) Voir p. 109.

(3) Voir p. 124.

IV. — EXAMEN DES TISSUS VIVANTS

Ayant donc précisé de proche en proche par l'examen des cendres totales, de la matière sèche des végétaux et de leurs cendres blanches, les domaines de sensibilité de l'électromètre Pohl et du tube-compteur, nous avons enfin abordé l'étude des tissus vivants.

Comme nous l'avons déjà signalé, aucun essai à l'électromètre ne fut probant. Voyons donc maintenant à quels résultats nous a conduit l'utilisation du tube-compteur.

Quelques essais sur des tissus végétaux à l'état frais (racines de poireau, navet) ne nous ont rien donné. Voici par exemple ce que nous avons obtenu en plaçant un navet devant le tube-compteur :

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	à vide	Tissus frais
5.....	130	121
5.....		
5.....	123	

TABLEAU XI.

Dans la suite, nous nous sommes adressé à de petits animaux (cobaye, souris). Ceux-ci étaient placés dans une cage à grillage en fils de fer divisée en deux compartiments dont un seul était occupé par le petit animal. Nous avons enregistré les impulsions lorsque celui-ci se trouvait devant le tube-compteur, puis, retournant la cage, nous disposions contre le tube la paroi métallique du compartiment vide ce qui nous permettait de nous placer, dans les deux cas, dans des conditions très sensiblement identiques et d'éliminer l'influence d'une irradiation quelconque par le fil métallique de la paroi.

1° COBAYE. — Tube-compteur n° 2.

1^{er} essai.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	à vide	avec cobaye
5.....	138	
5.....		142
5.....	116	
5.....		142
Nombre d'impulsions {	en 10 minutes.	254 ± 16
	par minute ...	25,4 ± 1,6
		284 ± 17
		28,4 ± 1,7

TABEAU XLI

Ainsi donc, dans ce premier essai, nous enregistrons en moyenne 3 impulsions en plus par minute lorsque l'animal se trouve placé directement contre le tube par rapport aux impulsions enregistrées lorsqu'il s'en trouve éloigné d'environ 12 cm. Mais à cause des incertitudes expérimentales dues aux fluctuations du nombre des impulsions un tel écart n'a rien de probant.

2^e essai.

Durée d'enregistrement en minutes	Nombre d'impulsions	
	a vide	avec cobaye
5.....	124	
5.....		142
5.....	127	
5.....		151
5.....	107	
5.....		157
Nombre d'impulsions {	en 15 minutes.	358 ± 19
	par minute ...	23,8 ± 1,5
		450 ± 21
		30 ± 1,4

TABEAU XLII

Le résultat est ici plus favorable; c'est également ce que l'on peut déduire d'un essai effectué avec une souris.

2° SOURIS — Tube-compteur n° 2.

Voici, de minute en minute, les impulsions enregistrées au cours d'une mesure :

		Total pour 7 minutes :
à vide	28...30...27...28...25 ..21...28	187 $\pm$ 13, ₆
avec la souris..	29 ..30...35...32...39. ..37...34	236 $\pm$ 15

c'est-à-dire en moyenne, par minute,

avec la souris : 33,7 $\pm$ 2

à vide : 27 $\pm$ 2

La conclusion générale qui s'impose c'est qu'il paraît y avoir quelque chose, et que ce « quelque chose » est tout à fait de l'ordre de grandeur de ce que l'on est en droit d'espérer si le potassium est ici encore la cause du rayonnement.

C'est tout à fait sciemment que nous restons ainsi dans l'imprécision, car très visiblement nous sommes à l'extrême limite de la sensibilité du tube de GEIGER-MULLER, et il semble que dans ces conditions une affirmation formelle n'est pas possible. C'est la raison pour laquelle également il ne nous a pas semblé nécessaire de sacrifier les animaux pour déterminer ensuite leur rayonnement dans l'intention de voir s'il y a là l'indice d'une Bioradioactivité (1).

Quoi qu'il en soit, par ailleurs, le rayonnement prodigieusement intense dont parle NODON (2) ne nous est apparu en aucun cas. Donc si ce rayonnement existe, il faut qu'il soit particulièrement peu pénétrant puisque la mince paroi d'aluminium qu'il doit traverser avant de pénétrer à l'intérieur du tube l'a presque totalement absorbé.

De plus, il est assez frappant que deux êtres vivants, cobaye et souris, de dimensions et de poids très différents, paraissent émettre un rayonnement d'intensité très analogue. Ce fait s'interprète assez bien, semble-t-il, si l'on admet l'influence du potassium dont la teneur pour cent est assez constante dans les tissus vivants (3) car, nous le savons, l'activité des cendres et des tissus

(1) Voir p. 21 la suggestion de M. P. BECQUEREL dans ce sens.

(2) Voir p. 7.

(3) Par exemple d'après M. P. GÉRARD (42) cette teneur est de 0,23 %, chez le cobaye et de 0,36 %, chez la souris.

secs est proportionnelle à la teneur pour cent en cet élément. Par contre on s'expliquerait mal, si l'on adopte les conceptions de NOBON, que les dimensions du sujet n'interviennent pas vis-à-vis d'un rayonnement ultra-pénétrant d'origine cosmique qui très certainement devrait activer chez le cobaye un plus grand nombre de cellules vivantes que chez la souris.

Une dernière remarque : en 1926, MULLER (73) a signalé que chez l'homme, la main, surtout par la face intérieure des phalanges, émet une certaine « émanation » susceptible de rendre plus conducteur l'air qui se trouve emmagasiné entre les armatures d'un condensateur chargé. Nous avons voulu nous rendre compte si un tel rayonnement, en admettant qu'il existe vraiment, est susceptible d'agir sur le tube-compteur. Tous les essais que nous avons tentés dans ce sens, avec le concours de plusieurs personnes, n'ont donné aucun résultat positif.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Au cours de ce travail nous nous sommes proposé d'apporter une contribution, incomplète sans doute, en tout cas précise, à l'étude de l'émission par les êtres vivants d'un rayonnement ionisant. Ce phénomène annoncé en 1913 par TOMMASINA, découvert à nouveau en 1924 par NODON, reste très discuté.

Trois théories ont été émises pour expliquer son origine :

1. — Théorie de L. PETRI (1922) : les réactions diastasiques dans les tissus vivants se traduisent par une action à *distance*, par une émission d'électrons.

2. — Théorie de NODON (1924) : l'intervention d'ondes ultra-pénétrantes émises par le soleil et par les astres combinée avec une certaine « action vitale » rendrait actifs les éléments constituants des tissus vivants (carbone, oxygène, hydrogène, azote etc...).

3. — Théorie de M. P. BECQUEREL (1924) : le potassium, toujours présent dans les végétaux et les animaux, élément *plastique* par excellence, émet un faible rayonnement.

D'après les théories 1 et 2, la vie est nécessaire (bioradioactivité) ; dans la théorie 3, elle n'est pas indispensable (radioactivité au sens classique du terme).

Nous avons donc cherché dans quelle mesure intervient le potassium, et aussi le rubidium et le radium que l'on trouve à l'état de traces dans le tissu vivant.

Cette conception permet en opérant d'abord sur les cendres totales, ensuite sur la matière sèche, où les éléments actifs sont concentrés, de préciser l'intensité du phénomène avant d'entreprendre l'examen des tissus vivants.

Les recherches ont été effectuées en deux temps, surtout sur les végétaux qui sont en général plus riches en potassium que les animaux :

1°) avec un électromètre monofilaire Pohl (chambre d'ionisation maintenue fermée par un écran mince de cellophane) ;

2°) avec un petit tube-compteur de GEIGER-MULLER, à paroi mince d'aluminium (9 μ s) rempli d'air ou d'argon sous 5 cm. de mercure.

I. — Résultats obtenus avec le Pohl.

1) *Sensibilité* : nous avons réussi à détecter le rayonnement de 0 gr. 28 de potassium à l'état de perchlorate réparti sur 20 cm² à peine (en 1912, HENRIOT avec un Wilson, au cours du seul travail expérimental effectué en France sur la radioactivité des alcalins, utilisait au minimum 15 gr. 9 de K à l'état de sulfate étalé sur 1.000 cm²).

Dans ces conditions de sensibilité, on s'est assuré de la fidélité de l'électromètre.

2) *Activité des cendres totales* : (Tabac, Vigne Vierge, Aucuba, en feuilles). — Cette activité est certaine bien que L. PETRI (1922) et VACCARI (1932) n'aient pu l'observer sur les cendres de diverses graines.

Une étude quantitative a été possible :

1°) influence de l'épaisseur des cendres jusqu'à la saturation ;

2°) l'intensité du courant à l'épaisseur de saturation est proportionnelle :

a) à la surface d'étalement des cendres

b) à la teneur p. 100 en potassium.

3) *Le rayonnement est localisé dans l'extrait sec de la partie soluble des cendres qui contient tout le potassium.*

Les cendres insolubles (radium) n'ont manifesté aucune activité à l'électromètre.

4) *Absorption du rayonnement des cendres et de l'extrait sec par des écrans minces (Sn, Al et Cellophane).*

Pour les grandes épaisseurs d'écran, les courbes d'absorption concordent avec les courbes exponentielles que donne le sulfate de potassium. A l'origine, il y a un léger écart : on a pensé à l'influence possible du rayonnement très mou du rubidium, mais la discussion des erreurs expérimentales et une expérience de

contrôle obligent de laisser en suspens la question relative à la présence du rubidium.

5) Les résultats de l'absorption exponentielle du rayonnement du sulfate de potassium nous ont permis d'attribuer à l'étain un coefficient massique d'absorption $\frac{\mu}{\rho} = 14,7$ et à l'aluminium le coefficient $\frac{\mu}{\rho} = 11$. Les nombreuses valeurs que l'on a proposées jusqu'ici pour ces coefficients sont extraordinairement discordantes. Nos résultats résolvent, croyons-nous, la question de savoir quelles valeurs il faut donner à ces coefficients, lorsqu'on étudie l'absorption par la méthode électrométrique.

Ils nous ont permis de montrer, en effet, que la relation linéaire de G. FOURNIER entre le coefficient $\frac{\mu}{\rho}$ et le nombre atomique Z du métal absorbant $\left(\frac{\mu}{\rho} = a + b Z, \text{ avec } \frac{a}{b} = 105\right)$ pour les divers rayonnements β des éléments radioactifs ordinaires s'applique à celui du potassium.

6) *Les végétaux à l'état sec émettent un rayonnement dont l'intensité de saturation est également proportionnelle à leur teneur % en potassium.*

On est ici à la limite de sensibilité du Pohl.

Conclusion. — Si la teneur en potassium est au moins égale à 4 ou 5 %, quel que soit le tissu, il est possible de détecter son rayonnement. Si les tissus vivants n'ont rien donné à l'électromètre, c'est que leur teneur en cet élément est de l'ordre de 1 % seulement.

II. — Résultats obtenus avec le tube-compteur.

1) Il nous a été possible de confirmer les résultats précédents.

2) Dans le rayonnement des cendres totales, il n'apparaît pas de rayonnement γ , que ce soit celui du potassium signalé par KOLHÖRSTER (1928) ou celui du radium : un écran de fer ($e = 1,5$ mm.) absorbe la totalité du rayonnement.

3) Le rayonnement des cendres insolubles, qui n'était pas décelable au Pohl, est mis en évidence. Il est très pénétrant :

l'écran de fer ci-dessus ne l'absorbe pratiquement pas. Il paraît être dû au radium qu'il serait possible de doser ainsi par ce procédé dans les végétaux, comme cela a été fait pour le radium dans les roches.

4) *Examen des tissus vivants* : rien avec navet et racines de poireau. Il paraît y avoir cependant quelque chose avec le cobaye et la souris, mais le rayonnement est si peu intense qu'il ne semble pas possible de conclure catégoriquement.

En tout cas, si ce rayonnement existe :

1°) — son intensité permet très vraisemblablement de l'attribuer au potassium.

2°) — il n'a rien de commun avec le rayonnement extraordinairement intense que NOBON croit pouvoir attribuer aux cellules vivantes.

3°) — s'il y a émission du rayonnement de NOBON, il doit être très peu pénétrant puisque la mince paroi d'aluminium du tube-compteur l'absorbe.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. ACQUA (C.). — 1907. Sull' accumulo di sostanze radioattive nei vegetali (*Rendiconti Accad. Lincei*, 16, page 357).
2. BARENDRECH (H.-P.). — 1904. Enzymwirkung (*Zeitschr. f. physik. Chem.*, 49, page 456).
3. BARENDRECHT (H.-P.). — 1913. Enzyme. Action Facts and Theory (*Biochem. Journ.*, 7, p. 559).
4. BARENDRECHT (H.-P.). — 1920. L'uréase et la théorie de l'action des enzymes par rayonnement (*Recueil des Tr. Ch. des Pays-Bas*, série IV, 39, page 2).
5. BECQUEREL (P.). — 1905. Recherches sur la radioactivité végétale (*C.R. Ac. des Sc.*, 140, page 54).
6. BECQUEREL (P.). — 1912. La radioactivité et les végétaux (*Revue Générale des Sc.*, page 576).
7. BECQUEREL (P.). — 1913. Die Radioaktivität und die Pflanzen (*Handbuch d. Rad. Bio. u. Therapie*, von P. Lazarus, pp. 120-132).
8. BECQUEREL (P.). — 1924. La Bioradioactivité existe-t-elle ? (*C.R. Ac. des Sc.*, 178, page 795).
9. BECQUEREL (P.). — 1926. Notice sur ses travaux et titres Scientifiques (*Presses Universitaires de France*).
10. BEHOUNEK (F.). — 1930. Gamma Rays of Potassium (*Nature*, 126, p. 243).
11. BERGET (A.). — 1927. Les ultraradiations (*La Revue Universelle*, 28, 15 février, n° 22).
12. BERGWITZ (K.). — 1906. Notiz über den Einflüs des Waldes auf die Elektrizitätstreug in der Luft (*Phys. Zeit.*, 7, page 696).
13. BERTHELOT (D.). — 1924. Remarques sur la note de M. Nodon (*C. R. Ac. des Sc.*, 178, page 487).
14. BERTRAND (Gab.) et Mme M. ROSENBLATT. — 1928. Sur la présence générale du sodium chez les plantes (*Bull. Soc. Chim.* (4), 43, page 368).
15. BERTRAND (Gab.) et PERIETZEANU (D.-J.). — 1928. Sur les proportions relatives de potassium et de sodium chez les plantés (*Ann. Sc. agron.*, 45, page 82).
16. BERTRAND (Gab.). — 1929. Dosages directs du potassium et du sodium dans les plantes, applicables aussi à d'autres substances (*Ann. Sc. agron.*, 46, page 1).
17. BOCCIARELLI (D.). — 1933. Sulla radioattivita del potassio (*Atti. R. Accad. Lincei*, (6), 17, page 830).
18. BORCHERS. — 1905. Scientific News (*The new science Review*).
19. BRUNOWSKII (B.-K.) et KUNASHEVA (K.-G.). — 1930. The radium content of some plants (*C. R. Ac. Sc. U.R.S.S.*, A. page 537), d'après C. A. 25, 1931, page 4911.

20. BRUNOSWSKII (B.-K.). — 1932. The concentration of radium in various organisms (*Trav. lab. biogéochim. Acad. Sc. U.R.S.S.*, 2 p. 9-24), d'après C. A. 27, 1933, page 2473
21. BURKE (B.). — 1905. *Nature*, 25 mai.
22. BURKSER (E.), BRUN (L.) et BRONSTEIN (K.). — 1927. Zur Frage der Bioradioaktivität der Pflanzen und der Existenz von Radium elementen in denselben (*Bioch. Zeits*, 181, page 145).
23. BURKSER (E.), SCHAPIRO (M.) et BRONSTEIN (K.). — 1929. Radiumgehalt einiger Nahrungsmittel (*Bioch. Zeits.*, 211, page 323).
24. BURKSER (E.), KONDOGURI (W.), MILGEWSKA (W.) et BRONSTEIN (K.). — 1931. Versuche einer Bestimmung von Radiumelementen in Pflanzen (*Bioch. Zeits.*, 233, page 58).
25. CAMPBELL (N.-R.) et WOOD (A.). — 1906. The radioactivity of the Alkali metals (*Proc. Camb. Phil. Soc.*, 14, page 15).
26. CAMPBELL (N.-R.). — 1907. The β rays from potassium (*Proc. Camb. Phil. Soc.*, 14, page 211).
27. CAMPBELL (N.-R.). — 1908. The radioactivity of potassium with special reference the solutions of its salts (*Proc. Camb. Phil. Soc.*, 14, page 557).
28. CAMPBELL (N.-R.). — 1909. The radioactivity of Rubidium (*Proc. Camb. Phil. Soc.*, 15, page 11).
29. CANALS (E.) et MEDAILLE (A.). — 1932. Radioactivité des moûts et des vins (*J. de Pharm. et de Chim.* (8), 16, page 62).
30. CANALS (E.) et MEDAILLE (A.). — 1933. Radioactivité des moûts et des vins (*J. de Pharm. et de Chim.*, (8), 18, page 154).
31. CHAUVEAU (A.-B.). — 1913. L'ionisation en vase clos et la radiation pénétrante (*Le Radium*, 10, page 17 et page 69).
32. CHENEVEAU (C.) et LABORDE (A.). — 1909. Appareils pour la mesure de la radioactivité d'après la méthode électroscopique (*J. de Phys.*, 8, page 161).
33. COPIN (H.). — 1932. Les ultra-radiations, Libr. A. Legrand, édit., Paris.
34. CURIE (I.) et JOLIOT (F.). — 1933. Recherches sur le rayonnement ultra-pénétrant à la station scientifique du Jungfraujoch (*J. de Phys.*, 7^e série, 4, page 492).
35. CUVIER (G.). — 1934. Les ultra-radiations et la cellule vivante (*Rapport présenté au 21^e Congrès d'Hygiène*, Paris, 24 octobre), voir « Le Mouvement Sanitaire », n° 128, page 682.
36. ELLINGER (Ph.). — 1921. Die Beeinflussung der Oxydationsgeschwindigkeit von roten Blut Körperchen durch Kalium und Radioaktivität (*Z. physiol. chem.*, 116, page 266).
37. ELSTER (J.) et GEITEL (H.). — 1902. *Arch. Sc. phys. et nat.*, Genève, 13, page 113).
38. ERNEST (A) et ZACEK (A.). — 1913. Über die Wirkung der Koniferen auf die Leitfähigkeit der Luft (*Sitzs. ber d. Kgl. Böhmisch Gessellschaft d. Wiss. Math. Naturwiss. classe*).
39. FOURNIER (G.). — 1927. Sur l'absorption des rayons β par la matière. (*Thèse*, Paris et *Ann. Phys.*, 10^e série, 8, page 205).
40. FOURNIER (G.) et GUILLOT (M.). — 1933. Sur l'absorption exponentielle des rayons β du Radium E (*Act. Sc. et Ind.*, Hermann édit. Paris).
41. GEIGER (H.) et MULLER (W.). — 1928. Le tube compteur d'électrons (*Phys. Zeits*, 29, page 839).
42. GERARD (P.). — 1912. Contribution à l'étude du potassium et du sodium chez les animaux (*Thèse Sciences*, Paris.).

43. GESLIN (M.) et CHAHNAZAROFF (D.). — 1933. Mesure de la radioactivité des eaux et des gaz naturels (*Ann. Guébbard-Séverine*, 9, page 312.).
44. GIVELET (A.). — 1930. La photographie des radiations d'origine biologique (*La Nature*, 2^e semestre, page 165).
45. GRANDEAU (L.). — 1863. Recherches sur la présence du rubidium et du césium dans les eaux naturelles, les minéraux et les végétaux (*Ann. Chim. et Phys.*, 67, page 155).
46. GUEBEN (G.). — 1924. Sur le rayonnement des sels de potassium (*Ann. Soc. Sc.*, Bruxelles, 43, page 199).
47. GUEBEN (G.). — 1924. Sur le rayonnement des sels de potassium (*ibid.*, 44, page 35).
48. GURWITSCH (A.). — 1922. Ueb. Ursachen d. Zellteilung, Roux's Archiv.
49. HAMBURGER (H.-J.). — 1923. La radioactivité biologique de M. Zwaardemaker (*Soc. de Bio., Vol. Jubilaire*, page 38).
50. HAMBURGER (H.-J.). — 1923. Die Zwaardemakersche biologische Radioaktivität (*Bio. Zeits.*, 139, page 509).
51. HARKINS (W.-D.) et GUY (W.-G.). — 1925. The Radioactivity of potassium, rubidium and other elements (*Wash. Proc.*, 11, page 628).
52. HENRIOT (E.). — 1912. Etude des rayons émis par les métaux alcalins (Thèse n° 1446, Paris, et *Ann. Ch. et Phys.*, (8), 25, page 377 et 26, page 54).
- 52 bis. HEVESY (G. von), SEITH (W.) et PAHL (M.). — 1931. Über die Radioaktivität des Kaliums (*Z. phys. Chem., Bodensteinfestbd.*, page 309).
53. HOFFMANN (G.). — 1923. Sur la radioactivité des alcalins (*Phys. Zeits.*, 24, page 475).
54. KOLHÖRSTER (W.). — 1930. Gamma strahlen und Kaliumsalze (*Zeits. f. Geophysik*, 6, page 341).
55. KUBAN (Marie). — 1928. Über Kalium und Rubidium Strahlung (*Sitz. Ber. Wien IIa*, 137, page 241).
56. LANCEN (A.) et THOMAS (L.). — 1909. Recherches expérimentales sur la radioactivité biologique (*Bull. Soc. Pharm.*, 16, page 590).
57. LANCEN (A.) et THOMAS (L.). — 1909. Sur l'ionisation végétale (*C. R. Soc. de Bio.*, 67, page 559).
58. LANGWORTHY (C.-F.). — 1924. Radioactivity of rip tomatoes (*Science*, 60, page 405), d'après C. A. XIX, page 666 - 1925.
59. LENNAN MAC et KENNEDY (W.-T.). — 1908. Sur la radioactivité du potassium et autres métaux alcalins (*Phil. Mag.*, 16, page 377).
60. LEPAPE (A.) et TRANNOY (R.). — 1934. Influence du radium sur la végétation (*Ann. Sc. agron.*, 3, page 319).
61. LEPAPE (A.) et TRANNOY (R.). — 1934. Fixation par les plantes du radium mis à leur disposition dans le sol (*C. R. Ac. des Sc.*, 199 page 803).
62. LEPRINCE (A.). — 1931. Les radiations humaines (Préface d'Auguste Lumière), A. Legrand, édit., Paris.
63. LEPRINCE-RINGUET (L.) et AUGER (P.). — 1934. Etude par la méthode des coïncidences de la variation du rayonnement cosmique suivant la latitude (*J. de Phys.*, 7^e série, 5, page 193).
64. LIEBIG (J.). — 1839. Ueber die Erscheinungen der Gährung, Fäulniss und Verwesung und ihre Ursachen (*Ann. d. Chem. und Pharm.*, 30, page 250).
65. LOEB (J.). — 1921. Chemical caracer and physiological action of the potassium ions (*J. gen. physiol.*, 3, page 237).
66. LOEB (Robert-F.). — 1921. Radioactivity and physiological action of potassium. (*J. gen. physiol.*, 3, page 229).

67. LOISEL (P.) — 1924. La radioactivité de l'air, de l'eau et des roches (Traité d'Electricité Atmosphérique et Tellurique, *Presses Universitaires de France*, édit., Paris).
68. MAKOWER (W.) et GEIGER (H.). — 1919. Mesures pratiques de radioactivité (Gauthier-Villars, édit., Paris).
69. MEYER (St) et SCHWEIDLER (E.). — 1927. Radioaktivität.
70. MICKWITZ (A.). — 1930. Die Radioaktivität estländischer Schwefelmineralschlamme (*Zeits f. anorg. u. allg. Chemie*, 192, page 105).
71. MONTAUDON (R.). — 1927. Les radiations humaines (Alcan, édit., Paris).
72. MUHLHOFF (W.). — 1930. L'activité du potassium et du rubidium mesurée avec le tube compteur d'électrons (*Ann. der Physik*, 7, p. 205).
73. MULLER. — 1926. (*Bull. Assoc. Suisse des Electriciens*, 17, page 466).
74. NODON (A.). — 1924. Recherches sur la désintégration cellulaire (*C. R. Ac. des Sc.*, 178, page 487).
75. NODON (A.). — 1924. Recherches sur la radioactivité des cellules vivantes (*C. R. Ac. des Sc.*, 178, page 1101).
76. NODON (A.). — 1926. Electromètre destiné à l'étude des faibles manifestations radioactives (*C. R. Ac. des Sc.*, 182, page 457).
77. NODON (A.). — 1926. Eléments d'astrophysique (A. Blanchard, édit., Paris).
78. NODON (A.). — 1927. Les nouvelles radiations ultrapénétrantes et la cellule vitale (*Revue Scient.*, 65, page 609).
79. NODON (A.) et CUVIER (G.). — 1928. Recherches sur la radioactivité des vins (*C. R. Ac. des Sc.*, 187, page 725).
80. NODON (A.) et CUVIER (G.). — 1929. Microradioactivité du vin (*Congrès International de la Vigne et du Vin*, Bordeaux, page 181).
81. ORBAN (G.). — 1931. Untersuchungen über die Radioaktivität der Alkalimetalle mit der Nebelstrahlmethode (*Sitz. Ber. Wien*, 140, page 121).
82. PETRI (L.). — 1922. Existe una bioradioattività ? (*Revista di Biologia*, 4, page 457).
83. PETRI (L.). — 1922. Azione ionizzante degli enzimi (*Rendi Lincei*, (5), 31, page 50).
84. PETRI (L.). — 1928. Sopra le radiazioni mitogenetiche del Gurwitsch (*Rendi Lincei*, (6), 7, page 891).
85. PETRI (L.). — 1932. Di un metodo foto-elettrico per mettere in evidenza le radiazioni mitogenetiche del Gurwitsch (*Rendi Lincei*, (6), 15, page 919).
86. PETRI (L.). — 1933. L'azione ionizzante delle poltiglie fresche di tessuti vegetali e le radiazioni mitogenetiche (*Rendi Lincei*, (6), 17, p. 1041).
87. RAMSAY (W.). — 1905. Le radium peut-il donner la vie ? (*Revue Gén. des Sc.*, page 801).
88. ROBINSON (W.-O.), STEINKOENIG (L.-A.) et MILLER (C.F.). — 1917. The relation of some of the rarer elements in soils and plants (*U. S. Dept. Agr., Bull.* 600).
89. ROGER (G.-H.) et BINET (L.). — 1932. Traité de physiologie normale et pathologique, tome I.
90. RUDGE (G.). — 1906. (*Bull. Proc. Cambr. Phil. Soc.*, 4, 1906).
91. SCHLOESING (Th.). — 1871. Sur la séparation de la potasse et de la soude (*C. R. Ac. des Sc.*, 73, page 1269).
92. SERULLAS. — 1831. Emploi de l'acide perchlorique comme réactif propre à distinguer et à séparer la soude et la potasse libre ou combinée à d'autres acides (*Ann. Chim. et Phys.* (2), 46 page 297).

93. SHELDON (J.-H.) et RAMAGE (H.). — 1931. A spectrographic analysis of human tissus (*Bio. J.*, 25, page 1608).
94. STOKLASA (J.). — 1912. *Berichte d intern Kongress für allg u. ärztl. elektr u. rad. in Prag*
95. STOKLASA (J.). — 1920. Über die Radioaktivität der Kalium und ihre Bedeutung in der chlorophyllose und chlorophyllhaltiger Zelle (*Bio. Zeits.*, 108, page 109).
96. STOKLASA (J.). — 1928. Über den Einfluss der Radioaktivität auf die gesamten Kraft und Stoff-Wechsel Prozesse der Zelle (*Handbuch der Gesamten Strahlenheilkunde*, von P. Lazarus, pages 547-569).
97. STOKLASA (J.). — 1932. L'influence de la radioactivité des différents éléments radioactifs sur la croissance des plantes (*Centralblatt. f. Agrikulturchemie*, 2, page 160).
98. STOKLASA (J.) et PENKAVA (J.). — 1932. Biologie der Radium und der radioaktiven Elemente, Paul Parey, édit., Berlin (2 tomes).
99. SZILARD (B.). — 1913. Sur un électromètre à spirale (*C. R. Ac. des Sc.*, 156, page 779).
100. TARCHANOFF (I.) et MOLDENHAUER (T.). 1905. Sur la radioactivité induite et naturelle des plantes et sur son rôle probable dans la croissance des plantes. (*Bull. Int. Acad. des Sc. de Cracovie*, page 728).
101. TOMMASINA (Th.). — 1904. Constatacion d'une radioactivité propre aux êtres vivants, végétaux et animaux (*C. R. Ac. des Sc.*, 139, page 730).
102. TOMMASINA (Th.). — 1905. Sur un dispositif pour mesurer la radioactivité des êtres vivants, végétaux et animaux (*Congrès Radiologie et Ionisation, Liège*). Extrait de l'analyse des communications dans le *Radium*, page 409, 1905.
103. VACCARI (A.). — 1932. Ricerche sulle radiazioni mitogenetiche (*Archiv. di Fisiologia*, 30, page 350).
104. VERNADSKY (W.). — 1926. *C. R. Ac. des Sc. U.R.S.S.* (cité par Vitalis Chlopin et Pasvik-Chlopin, (*Bull Soc. Ch. Fr.*, 1932).
105. VERNADSKY (W.). — 1930. Sur le radium dans les organismes aquatiques (*C. R. Ac. des Sc.*, 191, page 421).
106. VERNADSKY (W.), BRUNOWSKY (V.) et KUMASEVA (C.). — 1933. Sur le mésothorium dans les *Lemma* (*C. R. Ac. des Sc.*, 197, page 1556).
107. VOGT (W.). — 1933. Radioaktive Gesteinsuntersuchungen mit dem Geiger-Müllerschen Zählrohr (*Physik Zeits.*, 34, page 79).
108. WULF. (Th.). — 1905. L'électromètre bifilaire et ses applications (*Ann. Soc. Sc.*, Bruxelles, 34, page 1).
109. WULF (Th.). — 1933. Die Faden-Elektrometer (F. Dümmler, édit., Berlin).
110. ZONDEK (S.-G.). — 1921. Kalium und Radioaktivität (*Bio Zeits.*, 121, page 76).
111. ZWAARDEMAKER (H.) et FEENSTRA (T.-B.). — 1916. *Koninkl. Akad. v. Wetensch.* Amsterdam, 19, page 99; 20, pages 341 et 633).
112. ZWAARDEMAKER (H.). — 1920. Radioactivité physiologique (*J. of. Physiol.*, 53, p. 273).
113. ZWAARDEMAKER (H.) et FEENSTRA (T.-B.). — 1921. Substitution du potassium par l'émanation de radium dans le liquide de Sidney Ringer (*C. R. Soc. Biol.*, 84, page 377).
114. ZWAARDEMAKER (H.) — 1923. Action physiologique du potassium et du calcium (*C. R. Soc. Biol.*, vol. *Jubilare*, pages 23-37).
115. ZWAARDEMAKER (H.). — 1928. Pflanzen und Strahlen (*Handbuch d. gesamten Strahlenheilkunde*, von P. Lazarus, page 542).

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Préparation et propriétés des couches métalliques très minces.

Vu et approuvé :

Paris, le 10 Novembre 1936

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

Ch. MAURAIN

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

S. CHARLÉTY

Imp. A. MARCHAND, Paris
